



UNIVERSITAT DE LLEIDA

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària

TREBALL PRÀCTIC TUTORAT
ENGINYERIA TÈCNICA FORESTAL EN EXPLOTACIONS
FORESTALS

Relació entre els factors ecològics
i la producció forestal en pi roig
(*Pinus sylvestris*) de l'àmbit
Pirinenc

Alumna: Montserrat Sala i Caellas

Tutora: Cristina Vega García

Cotutor: Pau Vericat Grau

Lleida, desembre 2009



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.



AGRAÏMENTS

Per començar vull donar les gràcies a totes aquelles persones que han estat el meu costat durant l'elaboració del projecte i especialment a aquelles que hi han estat en el pitjors moments. Gràcies per tenir un somriure sempre apunt.

Al Pau Vericat, per la seva ajuda, insistència i sobretot gran paciència durant tot el procés d'elaboració del treball.

A la Míriam Piqué per donar-me l'oportunitat de realitzar aquest treball.

Al Mario Beltran, per ensenyar-me tots els seus coneixements en la realització de parcel·les i per aguantar tots els contratemps meteorològics que varem tenir durant la seva realització.

Als nois de pràctiques, el Josep, el Lorenzo i el Guzmán que tan em van ajudar en l'elaboració de les parcel·les, gràcies per fer sempre bona cara tot i que la feina fos dura.

Al Centre Tecnològic Forestal de Catalunya per posar a la meva disposició els medis i infraestructures necessàries per portar a terme l'estudi.

Gràcies a tots els amics per estar al meu costat en tots els moments, especialment quan l'estat d'ànim estava baix. Vull agrair-ho especialment a aquells que van perdre hores lliures per acompanyar-me a fer parcel·les, a la Maria i el Pau, el Toni i l'Eiger i a les Martes, moltes gràcies.

Vull donar les gràcies de forma especial als meus pares i el meu germà, per estar sempre el meu costat i per donar-me sempre suport.

I per últim gràcies a totes aquelles persones que no he mencionat però que sense la seva ajuda això no hauria estat possible.



ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	6
1.1. ASPECTES GENERALS DEL PI ROIG	7
1.1.1. DESCRIPCIÓ DE L'ESPÈCIE	7
1.1.2. EL PI ROIG A CATALUNYA	8
1.1.3. ECOLOGIA DEL PI ROIG A CATALUNYA	9
1.1.4. SILVICULTURA DEL PI ROIG A CATALUNYA	10
1.2. QUALITAT D'ESTACIÓ EN ESPÈCIES FORESTALS	11
1.2.1. MÈTODES D'AVAUACIÓ INTRÍNSECS O DENDROMÈTRICS	12
1.2.2. MÈTODES D'AVAUACIÓ EXTRÍNSECS	14
1.3. AVAUACIÓ DE LA QUALITAT D'ESTACIÓ EN PI ROIG	18
1.3.1. CORBES DE QUALITAT D'ESTACIÓ	18
1.3.2. ESTUDI DE VARIABLES ECOLÒGIQUES	19
1.3.3. INTERÈS DE LES VARIABLES ECOLÒGIQUES PER A AVAUAR LA QUALITAT D'ESTACIÓ EN EL PI ROIG	19
2. OBJECTIUS DEL PROJECTE	21
3. MATERIALS I MÈTODES	23
3.1. DESCRIPCIÓ DE L'ÀREA D'ESTUDI	24
3.2. RELACIÓ ENTRE L'ALÇADA DOMINANT (H_0) I VARIABLES ECOLÒGIQUES EN BASE A L'INF3.	27
3.2.1. PARCEL·LES DE L'INF3	27
3.2.2. VARIABLES UTILITZADES PER L'ESTUDI	29
3.2.3. ANÀLISIS REALITZATS	33
3.3. RELACIÓ ENTRE L'ÍNDEX D'ESTACIÓ (SI) I VARIABLES ECOLÒGIQUES	34
3.3.1. SELECCIÓ DE LA MOSTRA	35
3.3.2. PRESA DE DADES	37
3.3.4. ANÀLISI DE LES DADES	41



4. RESULTATS I DISCUSSIÓ	43
4.1. RELACIÓ ENTRE L'ALÇADA DOMINANT (H_0) I VARIABLES ECOLÒGIQUES EN BASE A L'INF3.	44
4.1.1. EFECTE DE L'ÀREA CLIMÀTICA SOBRE L'ALTURA DOMINANT	44
4.1.2. EFECTE DEL RELLEU SOBRE L'ALTURA DOMINANT	48
4.1.3. EFECTE DE L'ORIENTACIÓ SOBRE L'ALTURA DOMINANT	49
4.2. RELACIÓ ENTRE L'ÍNDEX D'ESTACIÓ (SI) I VARIABLES ECOLÒGIQUES	54
4.2.1. INFLUÈNCIA DE LES VARIABLES ECOLÒGIQUES VERS L'ÍNDEX D'ESTACIÓ (SI)	54
4.3. RELACIÓ ENTRE VARIABLES DASOMÈTRIQUES I ÍNDEX D'ESTACIÓ (SI)	64
4.4. RELACIÓ ENTRE POSICIÓ FISIOGRÀFICA I PROFUNDITAT EFECTIVA D'ARRELAMENT	66
5. CONCLUSIONS	70
ANNEXOS	72
ANNEX 1: CLASSIFICACIÓ DEL RELLEU A CAMP	73
ANNEX 2: ESTIMACIÓ DELS ELEMENTS GROSSOS	76
ANNEX 3: FITXA DE RECOLLIDA DE DADES	77
ANNEX 4: PROTOCOL DE MESURA	79
BIBLIOGRÀFIA	82



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

1. INTRODUCCIÓ



1. INTRODUCCIÓ

1.1. ASPECTES GENERALS DEL PI ROIG (*Pinus sylvestris*)

1.1.1. DESCRIPCIÓ DE L'ESPÈCIE

El pi roig és un arbre perenne de la família de les pinàcies de fins a 40 m d'alçada, encara que normalment arriba a uns 25 m. El port és inicialment cònic-piramidal (CATALÁN *et al* 1991), en la maduresa es va deformant i fent-se asimètric, amb menys branques en la meitat més sotmesa als vents. L'asimetria del port és més accentuada en condicions d'estacions dures (GALÁN *et al* 1998).

El tronc és recte i cilíndric, principalment en zones denses, en les que les branques baixes desapareixen per poda natural (CATALÁN *et al* 1991). Escorça amb fissures, de color marró grisenc a la part inferior i vermell ataronjada o marró vermellós a la part superior i en la base de les branques; les fulles són verd-blavoses, de 3 a 10 cm de longitud i distribuïdes en parells (GALÁN *et al* 1998).

Floreix de maig a juny i la pinya madura a la tardor de l'any següent, tot i que es pot quedar a l'arbre d'un a dos anys. Les pinyes són gairebé còniques punxegudes, marrons o grises, de fins a 6 cm de llargada, solitàries o reunides en parells o tríos sobre peduncles curts. Les llavors són alades de fins a 4 mm de longitud de color negre grisenc. Els arbres no són fèrtils normalment fins als 40 anys d'edat (GALÁN *et al*, 1998).

Pel que fa a la seva distribució el pi roig és l'espècie de pi amb la major àrea de distribució natural i s'estén per tota Europa i Àsia (GALÁN *et al* 1998).



Figura 1: Distribució del pi roig per Europa i Àsia.

1.1.2. EL PI ROIG A CATALUNYA

A partir de les dades de l'IFN3 (Tercer Inventario Forestal Nacional, 1997-2007), consultades mitjançant el programa Mirabosc on-line versió IFN3, se n'extreu que la superfície que ocupen les pinedes homogènies de pi roig (àrea basimèrica superior al 80%) és de 135.458,04 ha i la superfície on el pi roig té una àrea basimètrica superior el 50%, és a dir masses mixtes dominades pel pi roig, és de 197.540,17 ha.

El pi roig el trobem distribuït geogràficament a l'àrea pirinenca i prepirinenca i punts culminants de les serralades prelitorals a Catalunya. (Fig. 2)

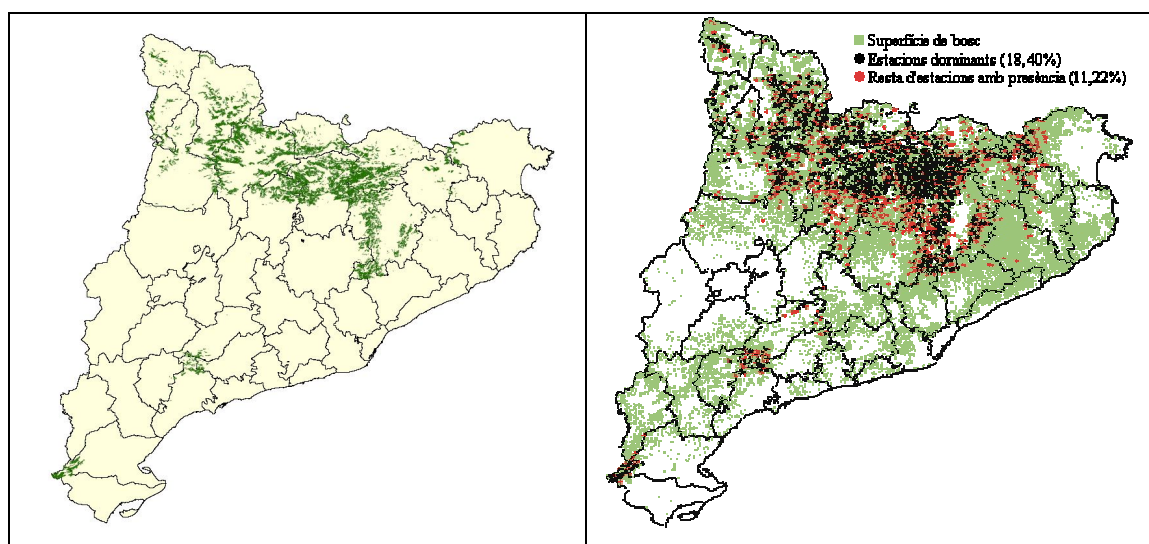


Figura 2: Distribució del Pi roig a Catalunya. A l'esquerra, distribució de les masses dominades pel pi roig segons el Mapa d'Hàbitats de Catalunya. A la dreta, localització de les parcel·les pures i mixtes de pi roig segons el Inventari Ecològic Forestal de Catalunya. (<http://www.creaf.uab.es/iefc/pub/Introduccio/Especies/MapaPiRoig.htm>)



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

El pi roig és l'espècie forestal més abundant a sis comarques: el Berguedà, l'Alt Urgell, el Ripollès, l'Alta Ribagorça, el Montsià i el Pallars Sobirà. Les comarques amb major presència de pi roig són l'Alt Urgell (amb una superfície de 35.338,7 ha de masses pures i mixtes amb presència de pi roig i un volum mitjà amb escorça de 124,48 m³/ha) i el Berguedà (amb una superfície de 32.417,5 ha i un volum mitjà amb escorça de 114,27 m³/ha). Segueixen a distància el Ripollès (amb unes 24.000 ha), el Pallars Sobirà (amb unes 21.000 ha) i el Solsonès (amb unes 17.000 ha).

En les parcel·les de l'IFN3 on el pi roig és l'espècie dominant, la densitat mitjana és de 754,70 peus/ha, l'àrea basal mitjana és de 21,02 m²/ha i una l'altura dominant de 11,02 m, dades extretes del programa Mirabosc.

Segons les estadístiques d'aprofitaments dels darrers 5 anys (DMAH, no publicat) el pi roig és l'espècie de la que més fusta s'aprofita a Catalunya, on cada any es tallen de mitjana uns 150.000 m³ de fusta amb escorça.

El preu de la fusta en peu és variable depenent de la zona de Catalunya i les característiques diametral i de la qualitat dels rolls, oscil·la entre els 7,5 a 20 €/t per aclarides i al voltant de 30 €/t per a tallades de regeneració, aquests preus es mantenen estables en valor nominal els darrers quinze anys i varien en funció del destí que tingui la fusta.

El pi roig és una fusta tecnològicament molt apreciada, els principals destins de la fusta en roll són embalatge industrial (palet), fusta serrada estructural (bigueria), xapa, pals de telèfon, estella per a tauler aglomerat, roll tornejat impregnat (RTI) i llenyes.

1.1.3. ECOLOGIA DEL PI ROIG A CATALUNYA

El pi roig no és exigent pel que fa al tipus de sòls (GALÁN *et al* 1998), tot i que prefereix sòls profunds i frescs. Principalment el trobem en cambisòls tant d'origen silícic com bàsic, encara que pot sobreviure fins i tot en terrenys turbosos i molt humits. Pot arribar a viure en terrenys pobres i superficials gràcies al potent desenvolupament de les arrels secundàries, això fa que es tracti d'una espècie que juga un paper molt important com a protectora del sòl contra l'erosió.



El seu temperament és intolerant, necessita llum per al seu desenvolupament, encara que en regions més continentals de la península es pot considerar de mitja llum (MONTERO, *et al* 2008) El pi roig ocupa una ampla varietat d'exposicions i altituds. Pel que fa a la seva altitud a Catalunya el trobem des dels 300 m fins als 2.000 m.

Prefereix àrees amb precipitacions superiors als 600 mm encara que pot sobreviure en zones amb precipitacions de fins a 400 mm, si bé una part les ha de rebre a l'estiu. Als Pirineus requereix una precipitació mitja anual superior a 600 mm, dels quals uns 200 mm han de donar-se a l'estiu. És resistent a gelades, vents i nevades, així com a oscil·lacions elevades del cicle tèrmic anual (GALÁN *et al* 1998).

1.1.4. SILVICULTURA DEL PI ROIG A CATALUNYA

Històricament les masses del pi roig a Catalunya estaven sotmeses a tallades de selecció (entresacas). Era el sistema més comú. Actualment, a Catalunya, la gestió com a bosc irregular amb tallades de selecció és vigent a molts boscos privats.

La gestió com a massa regular ha estat la més comú als boscos públics de pi roig. El tractament de regeneració més utilitzat tenint en compte els principals factors que afecten a la regeneració natural és l'aclarida successiva, és el mètode de regeneració que millor s'adapta a l'espècie segons diferents estudis portats a terme a Espanya (VÁZQUEZ, 1945; MARTÍNEZ de PISÓN, 1948; SAINZ MARGARETO, 1953, 1963; ROJO i MONTERO, 1996) citat per (MONTERO *et al* 2008).

Dins de les aclarides successives el tractament més habitual és l'aclarida successiva uniforme, degut en part a la seva senzillesa alhora realitzar les reparticions en l'espai i el temps i al menor cost econòmic, sent el tractament més lògic per aquelles masses amb un objectiu principal productor o productor-protector amb poques restriccions. En el cas de rodals amb un elevat valor protector, paisatgístic o de conservació de la biodiversitat, l'aclarida successiva per bosquets o per faixes és un dels mètodes més adequats tot i que comporta una gestió més meticulosa i costosa (MONTERO *et al* 2008).

Un altre tractament de regeneració són les tallades arreu, generalment acompanyades de treballs de regeneració, preparació del sòl i sembra (ROJO i



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

MONTERO, 1996). Les tallades arreu presenten una sèrie d'inconvenients que limita la seva aplicació generalitzada, com el major risc d'erosió, impacte paisatgístic, etc.

Una alternativa són les tallades arreu per faixes i per bosquets, que s'adapten millor el temperament de l'espècie a la Península Ibèrica. Les tallades arreu juntament amb la preparació del sòl i sembra es continua utilitzant actualment amb la finalitat de reduir costos i facilitar el moviment de la maquinària (FRANKLIN *et al* 1997 i VOLKONEN, 2000) citat per (MONTERO *et al* 2008).

Els torns en aquesta espècie es troben entre els 80 i els 120 anys, depenent de la qualitat d'estació, amb una producció de fins a 4,5 m³/ha/any (MONTERO *et al* 2008).

En les típiques pinedes denses de pi roig amb molsa, no es requereixen estassades normalment, però en molts boscos ibèrics, en ubicacions més seques o més clars que la formació esmentada, el matoll pot aparèixer en quantitats suficients que facin recomanable una estassada.

Les aclarides es fan en funció de l'espessor i normalment es fan cada vint anys per deixar per a la talla final entre 250 i 300 peus dels que deixarem uns 50 peus pares (MONTERO *et al* 2008).

1.2. QUALITAT D'ESTACIÓ EN ESPÈCIES FORESTALS

La qualitat d'estació es defineix com la capacitat productiva d'una estació poblada per una determinada espècie forestal. L'avaluació de la qualitat d'estació té com a objectiu l'estimació de la potencialitat productiva d'un medi concret front a una espècie forestal determinada (ORTEGA i MONTERO, 1988).

L'avaluació de la qualitat d'estació és una eina important per a la gestió forestal, ja que permet (GONZÁLEZ, 2002):

1. Comparar estacions entre elles.
2. Comprovar limitacions en el creixement o producció.
3. Imposar limitacions als tractaments i comparar els resultats dels mateixos.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

4. Preveure i comparar les produccions futures de la massa forestal en diferents zones.
5. Avaluar l'evolució en el temps de la qualitat d'estació en un mateix lloc.

La qualitat d'estació pot avaluar-se per mètodes directes o indirectes.

Els **mètodes directes**, consisteixen en la presa de mesures repetides durant tot el cicle productiu fixat, comptabilitzant el volum existent i els volums extrets en les intervencions silvícoles, així com la mortalitat natural si es produeix (ORTEGA i MONTERO, 1988). Són mètodes cars i costosos (i per tant poc emprats en la pràctica).

La capacitat productiva d'una estació forestal també es pot avaluar a partir de diversos **estimadors indirectes**, que poden ser (ORTEGA i MONTERO, 1988):

- Intrínsecs de la massa arbrada o dendromètrics (altures dominants o mitjanes, creixements mitjans o màxims, volum total al final del torn, interceptió).
- Extrínsecs, basats en variables ecològiques, abiòtiques (clima, litologia, edafologia, fisiografia) o bé de la biocenosi (espècies o associacions indicadores).

A continuació es revisen els aspectes més rellevants dels mètodes indirectes d'avaluació de la qualitat d'estació.

1.2.1. MÈTODES D'AVALUACIÓ INTRÍNSECS O DENDROMÈTRICS

Amb aquests mètodes es pretén avaluar la incidència dels factors ecològics, a partir de la medició de paràmetres sobre la massa principal.

L'avaluació de la qualitat d'estació es realitza a partir del valor obtingut d'un índex, entenent per índex el valor que pren el paràmetre mesurat a una determinada



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

edat de la massa. Per avaluar la qualitat d'estació podem utilitzar diferents paràmetres com són l'altura, l'àrea basimètrica o índex de massa foliar.

Els mètodes d'avaluació intrínsecs o dendromètrics no es poden utilitzar en localitats en que falta la massa forestal o està molt deteriorada, a més, en funció del mètode dendromètric emprat, es requeriran altres característiques de la massa.

1.2.1.1. Avaluació de la qualitat per l'altura. Corbes de qualitat.

Dins dels diferents mètodes per a avaluar la qualitat d'estació, el més àmpliament utilitzat i amb millors resultats és el que utilitza l'altura com a índex (ORTEGA i MONTERO, 1988). Aquest mètode parteix de la certesa experimental que l'altura dels arbres dominants o dels dominants més els codominants per a una espècie i edat donades està més correlacionat amb la producció de fusta que cap altre paràmetre dels que defineixen la capacitat productiva de l'estació.

La llei d'Eichhorn diu que la producció total en volum de masses homogènies d'una espècie donada dins d'una regió climàtica homogènia és essencialment funció de l'altura. Això implica l'adopció de certes hipòtesis:

- La relació entre l'altura dominant i la producció és independent de:
 - o Edat
 - o Estació
 - o Densitat de població
 - o Tipus de clares practicades

Investigacions posteriors han matisat que la llei:

- S'adapta millor a masses coetànies monoespecífiques.
- S'adapta millor a coníferes que a frondoses
- La relació és millor quan s'utilitza el volum de la massa total (no només el de la principal)
- La llei és vàlida quan s'utilitza en masses amb una densitat compresa dins dels límits d'una àrea basimètrica òptima, definida per ASSMANN.

L'índex d'estació "*site index*", en aquest cas, és un concepte molt concret: altura a que arriba una massa a una edat determinada, anomenada edat típica, aquesta serà diferent per a diferents qualitats d'estació.



El principal inconvenient apareix quan es pretén fixar l'edat d'una massa i la seva edat no coincideix amb l'edat típica. Les corbes de qualitat (Fig. 3) permeten solucionar aquest problema. A les corbes de qualitat es relacionen les diferents condicions d'edat, alçada i qualitat per a una determinada espècie forestal en una àrea geogràfica determinada. S'ha observat que la utilització d'altures dominants (H_o) presenta avantatges, en la construcció de corbes de qualitat respecte a l'altura mitjana, ja que les aclarides poden alterar l'altura mitjana.

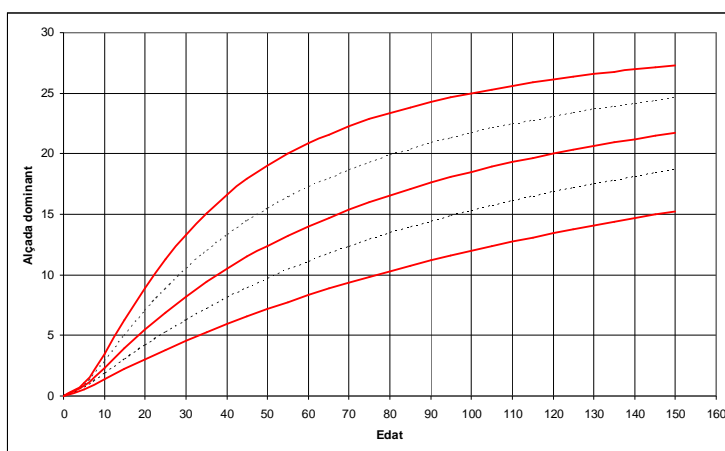


Figura 3: Corbes de qualitat d'estació per a pi roig en l'àmbit Pirinenc de PALAHÍ *et al* (2004) (línies vermelles indiquen el SI: 12, 18,8 i 25).

Aquestes corbes de qualitat estan concebudes per a la seva utilització en masses pures i regulars, per tan no les podem utilitzar en aquelles situacions en que les masses no siguin regulars o es troben afectades per tallades diamètriques.

1.2.2. MÈTODES D'AVALUACIÓ EXTRÍNSECS

Els mètodes d'avaluació extrínsecs es basen en criteris ecològics (biòtics o abiòtics). A diferència dels mètodes d'avaluació intrínsecs o dendromètrics aquests són independents del tipus de massa que trobem en la zona d'estudi.

Segons la llei de BAULE (1917) citat per ORTEGA i MONTERO (1988), s'ha de partir del supòsit bàsic de que els efectes dels diferents factors estacionals que



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

influeixen en el creixement actuen conjuntament i de forma multiplicadora, és a dir, són els efectes els que actuen multiplicativament i no els factors.

La dificultat de la medició d'alguns paràmetres del sòl i el poc coneixement que es té dels mecanismes que regulen les interaccions i els seus efectes ecofisiològics han limitat l'aplicació pràctica d'aquests índex, a escala de forests. Encara que la qualitat d'estació quedi millor definida quan es té en compte tots els factors que afecten la capacitat productiva (clima, sòl, vegetació, etc), per senzillesa i simplificació s'acostumen a fer estimacions indirectes a través d'un o més factors que es tracten com si fossin independents entre sí, la qual cosa poques vegades és cert, però moltes vegades explica un alt percentatge de la productivitat estacional (ORTEGA i MONTERO, 1988).

Diversos estudis han abordat la relació entre índex de qualitat dendromètrics (generalment al "site index") vers variables ecològiques. Alguns exemples d'aquests estudis serien ELENA i SÁNCHEZ (1991) per a *Pinus nigra*, GANDULLO i SÁNCHEZ (1994) per a varies espècies de *Pinus*, ELENA *et al* (2001) per a faig a Catalunya, OLARIETA *et al* (2001) per a *Pinus sylvestris* a la Serra d'Odén i RODRÍGUEZ *et al* (2008) per a *Pinus halepensis*. Tot i que s'elaboren models que expliquen un alt percentatge de la variabilitat, en general els models elaborats tenen com a principal limitació el seu ús pràctic degut a la dificultat de mesurar en camp algunes variables del model, com per exemple la sequera estival, percentatge de calç activa, percentatge de llim, etc.

Els principals grups de variables ecològiques abiòtiques que s'han utilitzat per a avaluar la qualitat d'estació són les climàtiques, edàfiques i fisiogràfiques.

1.2.2.1. Variables climàtiques

El clima d'una zona és el resultat de nombrosos factors que actuen conjuntament, com són la latitud, l'altitud, la distància al mar, els accidents geogràfics, etc. El clima depèn de certs elements, principalment temperatures, precipitacions, radiació solar i vents. Tots els factors anteriorment anomenats interfereixen en funció de la seva intensitat, produint una resposta única de la vegetació al conjunt del clima



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

de l'estació. Tot això produeix com a conseqüència que cada espècie tingui uns valors crítics i òptims.

- Temperatura: actua sobre els éssers vius bàsicament establint límits de tolerància, condicionant l'activitat biològica, influint en la distribució geogràfica de les espècies en el planeta. Cada espècie necessita una quantitat mínima d'energia per desenvolupar el seu cicle vegetatiu, així com l'acumulació de certa quantitat d'energia per iniciar la seva activitat després d'un període de repòs.
- Precipitació: varia en latitud sent més abundant a l'equador i també augmenten amb l'altitud i amb la proximitat de mars i oceans. Per a l'existència dels vegetals és imprescindible la existència d'aigua en el sòl, arribant a ser el component majoritari, fins a un 80%. L'aigua és el vehicle dels nutrients en la seva circulació per a la planta i per a l'absorció de les arrels. És indispensable per a la fotosíntesis.
- Radiació solar: la duració dels períodes lluminosos en un lloc depenen de la latitud i del dia (estació de l'any). La radiació és necessària per a realitzar la fotosíntesis. Les espècies estan adaptades a les diferències de la duració dels períodes lluminosos que provoquen la successió de les seves fases de desenvolupament.
- Vent: posseeix una acció indirecta, ja sigui augmentant o disminuint la temperatura, accelerant els processos d'evaporació i evapotranspiració. La velocitat del vent disminueix amb la proximitat del sòl i es redueix dins dels boscos.

1.2.2.2. Variables edàfiques

El sòl el podem definir des de diferents punts de vista. Des del punt de vista edafològic el sòl és un sistema natural obert polifàsic, polifuncional existent en la superfície terrestre, constituït per materials no consolidats resultat de processos d'autoorganització sota la influència dels factors formadors. Des d'un punt de vista agro-silvo-pastoral el defineixen com el medi que degut a la seva organització i a la



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

seva composició química, és susceptible de permetre el creixement de les plantes al proporciona'ls-hi aigua, nutrients, oxigen i ancoratge. Des del punt de vista mediambiental, on el sòl és un sistema que permet el desenvolupament de les plantes, és un element regulador del cicle de l'aigua, participa en el control de diferents cicles biogeoquímics en la superfície de la terra tant de nutrients com tòxics i contaminants. La definició des del punt de vista agro-silvo-pastoral com des del punt de vista mediambiental només descriuen aspectes parcials de la definició del sòl proposada des del punt de vista edafològic (OLARIETA i RODRÍGUEZ-OCHOA, 2005).

La importància del sòl recau en què:

- És un sistema natural obert, polifàsic i polifuncional, entenent per:
 - o Obert: la interfase de geosfera, atmosfera, i hidrosfera amb un flux continu d'energia i matèria entre les mateixes. Els sòls realitzen un efecte de redistribució i regulació d'aquests fluxos.
 - o Polifàsic: sòlida, gasosa i líquida
 - o Polifuncional: com ara, reserva de nutrients, poder depurador, propietats estructurals, poder d'amortidor, dipòsit d'aigua disponible, exploració radicular, airejament de les arrels, resistència a l'erosió, reserva de nutrients, anclatge de les plantes.
- Ecosistema en relació amb altres sistemes naturals i antròpics.
- Recurs natural:
 - o En el cas forestals producció de fusta i energia a més d'altres recursos agroforestals i paisatgístics.

1.2.2.3. Variables fisiogràfiques

La fisiografia és la descripció de les formes del relleu. Classifica les formes dels paisatges i les relaciona amb aspectes de la geologia, clima i hidrologia.

En l'ordenació territorial, la classificació fisiogràfica del terreny s'utilitza per a la caracterització de l'aptitud i maneig del sòl, l'anàlisi de les amenaces naturals, la zonificació ecològica i el reglament d'ús del sòl municipal.

Els factors fisiogràfics com ara l'orientació, la pendent o el relleu tenen una gran importància ja que condicionen la radiació incident i els fluxos d'aigua i sòl. És a



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

dir, on s'exporta o s'acumula l'aigua d'escolament i els materials del sòl. La presència o no d'aigua en el terreny condiona de forma fonamental la instal·lació i desenvolupament d'una coberta vegetal i això ens podrà condicionar que en una mateixa zona depenent de la part de la vessant on ens trobem, la qualitat d'estació difereixi. Per tan la posició fisiogràfica del terreny en relació amb la xarxa de drenatge, pot proporcionar a la vegetació l'aigua que necessita per a reduir i fins i tot compensar el dèficit hídric del clima, constituint àrees amb un potencial hídric superior al de l'entorn.

1.3. AVALUACIÓ DE LA QUALITAT D'ESTACIÓ EN PI ROIG

1.3.1. CORBES DE QUALITAT D'ESTACIÓ

Fins ara s'han portat a terme diferents estudis que tractaven sobre la qualitat d'estació de les masses de pi roig espanyoles. Va ser PITA (1964) qui va elaborar les primeres corbes de qualitat d'estació per aquesta espècie, utilitzant la funció asimptòtica de Hossfeld, on va establir cinc classes de qualitat per un rang d'edats de 20 a 80 anys, i va fixar l'edat típica els 50 anys. Posteriorment es van publicar les taules de producció per a pi roig, per a les principals zones de distribució de l'espècie a Espanya (GARCÍA ABEJÓN, 1981; GARCÍA ABEJÓN i GÓMEZ LORANCA, 1984; GARCÍA ABEJÓN i TELLÀ, 1986), en totes elles ampliant el rang d'edat de 20 a 120 anys; així es van definir quatre classes de qualitat pel Sistema Ibèric, tres pel Sistema Central i tres més pels Pirineus. Més tard ORTEGA i MONTERO (1991), van avaluar la qualitat d'estació en masses de *Pinus sylvestris* utilitzant la relació altura-diàmetre, i aplicant la fórmula de creixement de Meyer, per estimar la qualitat d'estació de forma independent de l'edat. També cal destacar l'estudi de la qualitat d'estació de les masses de pi roig de la Sierra de Guadarrama, concretament dels monts de Valsaín, Cercedilla i Navacerrada (ROJO i MONTERO, 1996), en aquests treball s'aconsegueixen quatre corbes de qualitat a partir de la relació altura dominant-edat, i s'utilitzen quatre models de creixement diferents: model de Bailey i Clutter, model Chapman-Richards, model de García i model de Hossfeld. I per últim el treball més recent, és l'estudi de la qualitat d'estació de les masses de pi roig pel nord-est d'Espanya (PALAHÍ *et al*, 2004), que estableix una equació basada en el model de Hossfeld.



1.3.2. ESTUDI DE VARIABLES ECOLÒGIQUES

Són escassos els treballs que estudien les relacions existents entre les qualitats d'estació i els factors ecològics pel cas del pi roig. En aquests sentit destaquen els treballs realitzats per a NICOLÁS i GANDULLO (1969), únicament tracta del *Pinus sylvestris*, GANDULLO I SÁNCHEZ (1994), on tracta diferents espècies del gènere *Pinus*, entre elles el pi roig.

A Catalunya, OLARIETA, *et al* (2001), estudien el *Pinus sylvestris* a la comarca del Solsonès. De les conclusions d'aquests estudi, se n'extreu que les característiques més importants del territori són:

- Altitud
- Orientació
- Profunditat d'arrelament

1.3.3. INTERÈS DE LES VARIABLES ECOLÒGIQUES PER A AVALUAR LA QUALITAT D'ESTACIÓ EN EL PI ROIG

En el cas del pi roig a Catalunya, la utilització dels mètodes intrínsecs, en concret les corbes de qualitat edat-alçada dominant, presenta una sèrie de limitacions, ja que estan concebuts per utilitzar-los en masses pures i regulars, i requereixen a més a més de mesures sobre la massa principal establerta que reflexa únicament la incidència dels factors ambientals. No és adequat per tan la seva utilització en aquelles situacions on la massa no és regular o es troba afectada per tallades diametral.

Com ja s'ha comentat, pel pi roig a l'àmbit de Catalunya existeixen corbes de edat–altura dominat (GARCÍA i TELLÀ, 1986; PALAHÍ *et al*, 2004), però paradoxalment, les masses d'aquesta espècie a Catalunya, presenten en general unes característiques estructurals, de composició específica i de interacció humana que freqüentment no permeten la utilització correcta dels mètodes intrínsecs. Es tracta en general de masses històricament sotmeses a tallades diametral que presenten estructures complexes (no regulars o irregulars desequilibrades, estratificació diversa) i apareixen en gran proporció com a masses mixtes.

Pel contrari, l'ús de factors extrínsecs o variables ecològiques per estimar la qualitat d'estació presenten un gran interès. El coneixement de la relació entre els



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

factors ecològics i la qualitat d'estació pot permetre una classificació ràpida i suficientment precisa per a l'avaluació de la qualitat d'estació forestal, encara que ens trobem en masses irregulars o que es trobin afectades per tallades diametral.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

2. OBJECTIUS DEL PROJECTE



2. OBJECTIUS

Aquest treball té com a objectiu general estudiar la relació entre indicadors dasomètrics de la qualitat d'estació i una sèrie de variables ecològiques per el pi roig de l'àmbit pirinenc i prepirinenc de Catalunya.

Es pretén en primer lloc posar de manifest possibles efectes derivats de variables climàtiques i fisiogràfiques, que actuen a escala regional o a escala de paisatge. S'estudiarà la influència de la localització bioclimàtica, el relleu i l'orientació. En aquesta primera aproximació, s'utilitzen les parcel·les de l'IFN3 amb l'alçada dominant com a indicador.

En segon lloc, a partir de parcel·les mesurades a l'efecte on s'ha establert un índex de qualitat en base a les corbes de qualitat de PALAHÍ (2004), s'estudiarà l'efecte d'una sèrie de variables climàtiques, edàfiques i fisiogràfiques en el site índex.

Com a objectius secundaris, a partir d'aquestes parcel·les mesurades, es pretén estudiar la relació entre l'índex d'estació (*site index*) i les característiques dasomètriques i la relació entre la posició fisiogràfica i profunditat efectiva de sòl dintre de l'àrea de distribució del pi roig a Catalunya.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

3. MATERIALS I MÈTODES



3. MATERIALS I MÈTODES

3.1. DESCRIPCIÓ DE L'ÀREA D'ESTUDI

L'àrea d'estudi abasta l'àrea de distribució del pi roig als Pirineus i Prepirineus catalans, en concret les comarques de la Vall d'Aran, Alta Ribagorça, Pallars Jussà, la Noguera, Pallars Sobirà, Alt Urgell, Cerdanya, Solsonès, Berguedà, Ripollès, la Garrotxa i l'Alt Empordà, Osona i Bages (Fig. 4).

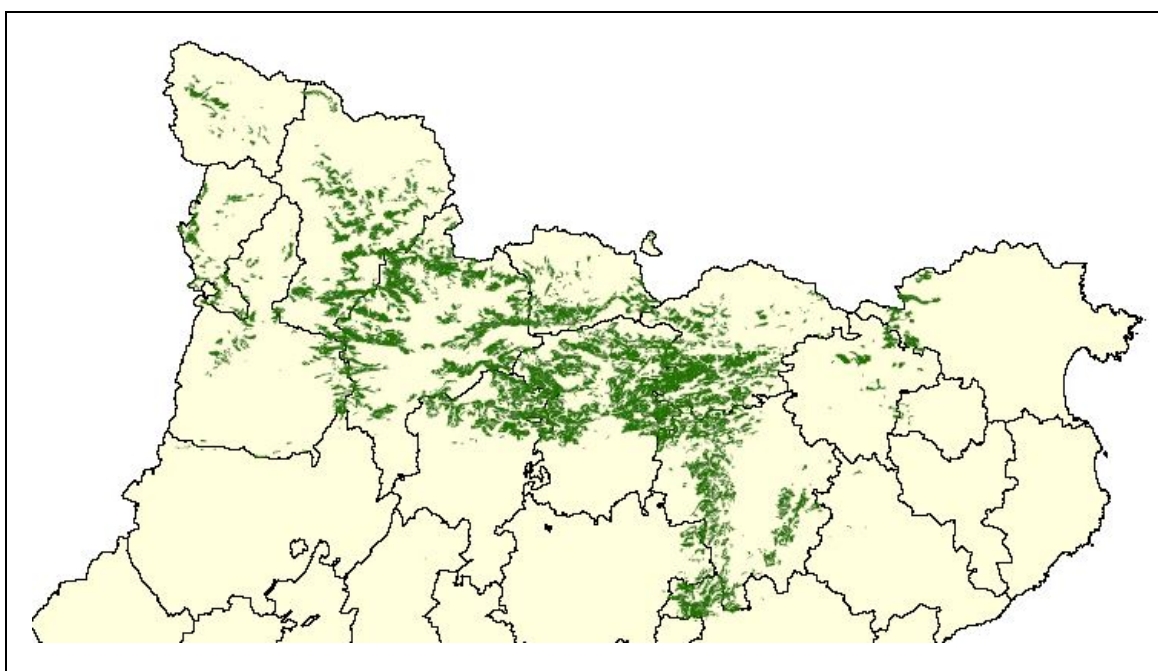


Figura 4: Distribució del pi roig a les comarques que s'inclouen a l'àrea d'estudi. Font: Mapa d'Hàbitats de Catalunya.



Taula 1: Informació sobre la presència de pi roig a les comarques que formen els Pirineus Catalans (Mirabosc on line)

Comarca	Distribució del pi roig		Superfície total comarca (ha)	Superfície total amb presència de pi roig en masses pures i mixtes (ha)
	Altura màxima (m)	Altura mínima (m)		
Alta Ribagorça	1990	865	42.680	3.561,60
Alt Empordà	1380	160	134.240	1.857,49
Alt Urgell	2040	427	144.690	35.338,74
Bages	1010	300	129.520	3.455,36
Berguedà	1865	390	118.250	32.417,47
Cerdanya	1960	980	54.640	6.085,55
Garrotxa	1115	135	73.540	3.677,07
Osona	1136	400	126.010	18.627,31
Pallars Jussà	1840	670	129.000	6.675,70
Pallars Sobirà	2082	770	135.520	16.945,67
Ripollès	1930	630	95.870	23.855,48
Solsonès	1820	510	99.860	14.274,43
Val d'Aran	2030	655	62.050	1.449,91

Els Pirineus catalans presenten en la part occidental les cotes més altes del sistema muntanyós, en el límit amb Aragó; a partir d'aquesta zona l'altitud disminueix de forma ràpida fins a la costa, on el cap de Creus constitueix l'últim accident de la serralada.

Els Pirineus en el territori català es divideixen en dues grans subunitats:

- Pirineus axials que presenten relleus abruptes i de gran altitud com són la Pica d'Estats (3.143 m), el Comaloformo (3.033 m) o el Puigmal (2.913 m) i amb sectors deprimits com la Cerdanya, amb un paisatge subalpí i alpí de gran diversitat marcat pels circs glacials amb llacs i estanys i amb cursos d'aigua que han excavat valls profundes.

- Prepirineus, on les muntanyes i valls de la zona és caracteritzen per tenir unes altures menors que les dels sector central dels Pirineus, havent-hi pocs pics que superin els 2.000 m d'altitud. Als prepirineus hi podem distingir dues alineacions de



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

montanyes, les interiors, tocant als Pirineus axials, on destaquen la serra del Cadí o el Pedraforca; i les exteriors, d'alçades més modestes com les del Montsec. Entre les dues alineacions muntanyoses trobem la depressió Mitjana Prepirinenca, clarament diferenciada a la conca de Tremp.

Des d'un punt de vista geomorfològic, els Pirineus mantenen una continuïtat i una alineació tectònica ben definida. Pel que fa a la litologia, els **Pirineus axials** estan formats per materials antics del paleozoic, els materials que hi predominen són els granits i les pissarres, mentre que en els **Prepirineus** hi predominen els materials calcaris, que es van dipositar en èpoques més recents, durant el mesozoic. Per tant podem trobar dues àrees de materials litològics ben diferenciats en l'àrea d'estudi una primera formada per materials silicis amb un pH àcid i l'altre formada per materials calcaris amb un pH bàsic o neutre.

Des del punt de vista climatològic, dins la l'àmbit Pirinenc i Prepirinenc podem distingir-hi els següents climes (BOLÒS i VIGO, 1984).

- Clima alpí: és localitza a partir dels 2.300 m d'altitud. Precipitació superior als 1.000 mm anuals amb un màxim a l'estiu i la temperatura mitjana anual és molt baixa.
- Clima subalpí: és localitza entre els 1.500 i els 2.300 m. La diferència entre els dos climes és que el subalpí presenta temperatures més elevades i menys precipitacions que l'alpí.
- Clima atlàntic: el trobem exclusivament a la Vall d'Aran, és un clima plujós i humit tot l'any amb una amplitud tèrmica escassa.
- Clima mediterrani d'alta muntanya: el trobem als Prepirineus, la Cerdanya, el Berguedà, el Ripollès i la Serralada Transversal i arriba fins al Montseny. És considera com una degradació del clima subalpí. Amb hiverns més suaus i estius més càlids, l'amplitud tèrmica és més gran, el màxim de precipitació és produeix a la primavera i l'estiu, sent l'hivern l'estació més seca de l'any.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

- Clima mediterrani de muntanya mitjana o baixa: localitzat en alçades superiors als 700 m, les precipitacions hi són menys abundants, al voltant del 800 mm anuals, amb el mínim pluviomètric a l'estiu.

Pel que fa a la vegetació en l'àmbit Pirinenc i Prepirinenc es pot dividir en tres regions clarament diferenciades (BOLÒS i VIGO, 1984).

- Regió boreo-alpina: pertany als estatges superiors dels Pirineus, per terme mitjà des de 1600 m d'altitud, i els cims més alts del Montseny (1600-1700 m). Dins d'aquesta regió hem de destacar l'estatge subalpí on hi trobem boscos de coníferes, situat immediatament sota l'estatge dels prats alpins.
-
- Regió eurosiberiana: aquesta regió només la trobem en el sector de la Vall d'Aran. En aquesta zona hi trobem boscos de pins i avets i boscos caducifolis (faig i roure).
- Regió mediterrània: flora rica i variada, pel fet de no haver estat gaire afectada per les glaciacions quaternàries, és en primer terme el país dels vegetals llenyosos esclerofil·les, de fullatge tot l'any verd. La regió mediterrània és divideix en tres províncies, d'aquestes la província oromediterrània és on hi trobem els boscos de coníferes, inclou la muntanya mediterrània alta o mitja de la Península Ibèrica, per damunt del límit superior de l'alzinar climàtic.

3.2. RELACIÓ ENTRE L'ALÇADA DOMINANT (H_0) I VARIABLES ECOLÒGIQUES EN BASE A L'INF3.

3.2.1. PARCEL·LES DE L'IFN3

En aquesta part de l'estudi es van utilitzar les parcel·les de l'IFN3. Aquest inventari consisteix en una mostra sistemàtica de parcel·les permanents distribuïdes segons una malla de 1x1 km. La mesura de les parcel·les de l'IFN3 a Catalunya es va realitzar entre els anys 2000 i 2001.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

El projecte de l'Inventari Forestal Nacional (IFN), va néixer a Espanya fa aproximadament quaranta anys, per donar resposta a les nombroses qüestions que requereien sobre l'estat forestal nacional existent en aquells moments. Des de llavors de forma contínua, tret d'un curt període, el projecte s'ha anat adaptant a les diferents exigències que la societat demana als boscos. En l'actualitat el projecte està configurat com un inventari forestal continuu, portant-se a terme cada dècada.

Actualment es disposa d'una extensa xarxa de parcel·les de tipus fixe que proporcionen dades homogènies que permeten fer un seguiment de la realitat del bosc, estudiant variacions temporals, tan a nivell d'arbre, com a nivell de massa i servint de base a nombrosos estudis d'investigació que desenvolupen models predictius sobre l'evolució forestal.

El IFN3 es va iniciar al 1996, i manté les característiques principals del IFN2 que són:

- L'inventari es defineix com un projecte de caràcter continuu.
- En totes les fases es tenen en compte l'estructura actual del país, tot i que la unitat bàsica d'informació serà la província.
- La divisió, classificació i medició de la superfície es farà cartogràficament mitjançant informació digitalitzada.
- La presentació de resultats incorporarà sortides cartogràfiques.

Per tant la metodologia del IFN3 és bàsicament la mateixa que la del IFN2, aportant com a novetats:

- Utilització d'una cartografia pròpia, el Mapa Forestal d'Espanya a escala 1:50.000.
- Aixecament de parcel·les existents del IFN2.
- Utilització de recol·lectores electròniques de dades.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

- Increment considerable de paràmetres a mesurar, especialment de caràcter ecològic.
- Reestructuració de resultats.
- Publicació dels resultats en paper i format digital.

3.2.2. VARIABLES UTILITZADES PER L'ESTUDI

Per a l'estudi s'han utilitzat totes aquelles parcel·les del IFN3 que es troben dins de l'àrea d'estudi i on l'àrea basimètrica de pi roig fos superior al 80% (parcel·les pures). El total de parcel·les seleccionades ha estat de 1.086 (Figura 5).

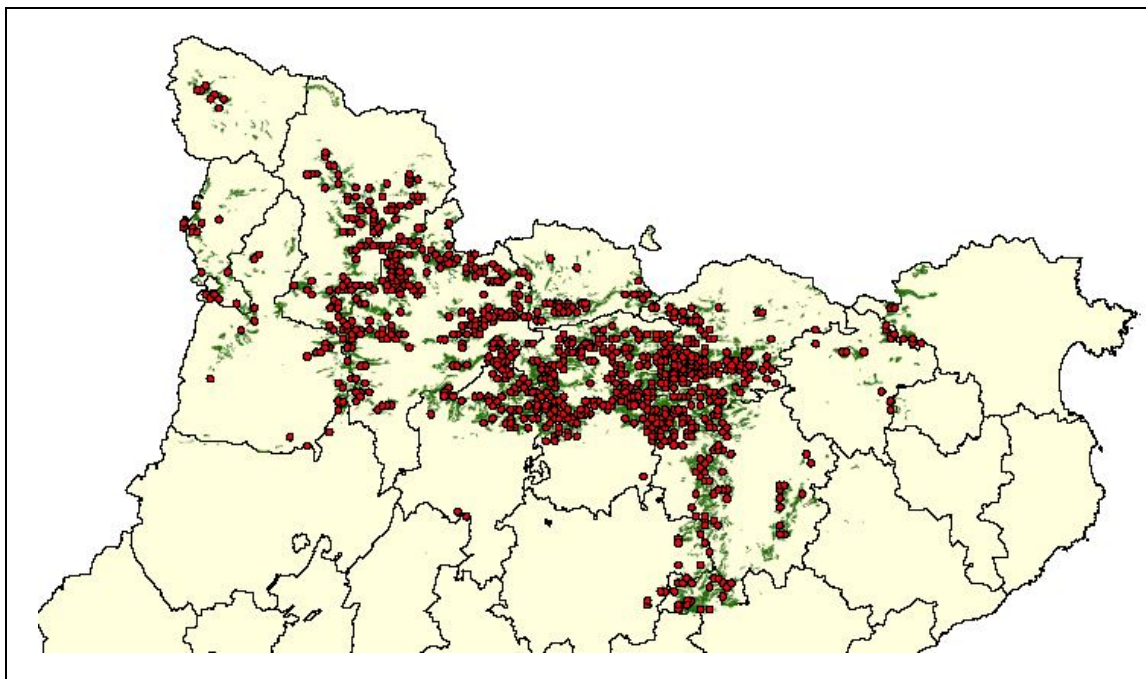


Figura 5: Mapa de l'àrea d'estudi i distribució de les parcel·les de l'IFN3 utilitzades

De cada parcel·la de l'IFN3 seleccionada, es va utilitzar l'**altura dominant d'Assmann** (H_o) com a variable dasomètrica indicadora de la qualitat d'estació.

Per altra banda es va utilitzar informació d'una sèrie de **variables ecològiques**. Les variables utilitzades van ser:



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

Els **àmbits bioclimàtics** de MOREÉ, *et al* (2005), aquests van ser determinats a partir d'un mètode de classificació mixta d'imatges de satèl·lit i altres variables climàtiques, orogràfiques i cartografia de cobertes vegetals Els àmbits bioclimàtics determinats es mostren a la taula 2.

Taula 2: Àmbits bioclimàtics i descripció (MOREÉ *et al*, 2005)

Àmbits bioclimàtics	Descripció
1	Temperatura molt alta a l'estiu i mitjana al hivern. Precipitació molt baixa. Radiació alta.
2	Temperatura alta a l'estiu i mitjana al hivern. Precipitació baixa. Radiació mitjana.
3	Temperatura mitjana. Precipitació mitjana. Radiació alta.
4	Temperatura alta. Precipitació mitjana en l'estació humida i mot baixa en l'estació seca. Radiació alta.
5	Temperatura moderadament baixa. Precipitació mitjana. Radiació alta.
6	Temperatura alta. Precipitació molt alta en l'estació humida i mitjana en l'estació seca. Radiació mitjana.
7	Temperatura mitjana. Precipitació molt alta en l'estació humida i alta en l'estació seca. Radiació alta.
8	Temperatura molt baixa. Precipitació molt alta. Radiació molt alta.
9	Temperatura molt baixa. Precipitació molt alta. Radiació molt baixa.

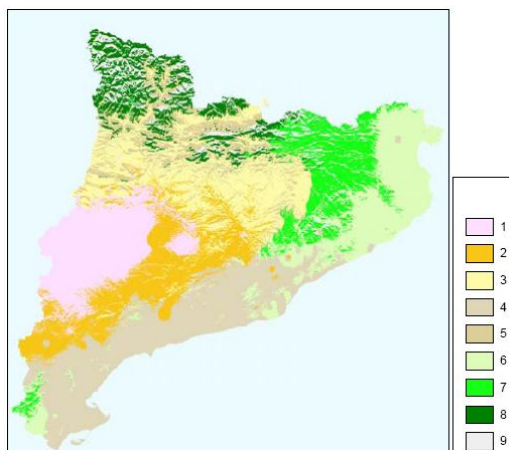


Figura 6: Àmbits bioclimàtics de Catalunya (Moré *et al*, 2005)

D'altra banda es va utilitzar una classificació del relleu realitzada per GARRIDO *et al* (2008). Per realitzar aquest anàlisi del relleu es va partir del Model Digital del Terreny (MDT) en format ràster de 30x30 metres. La classificació es va basar en REUTER (2003) i es va realitzar amb el programari ArcInfo Workstation 9.2. Les classes de relleu en que es va classificar la superfície estudiada es mostra a la taula 3.

Taula 3: Classificació del relleu.

Relleu	Classificació
1	Part superior de vessant
2	Mitja pendent
3	Part inferior de vessant
4	Altiplans
5	Crestes
6	Fons de vall

Aquesta classificació del relleu es basa en la divisió proposada per PENNOCK, *et al* (1987), PENNOCK *et al* (2001) i PENNOCK *et al* (2003) a partir de la classificació de criteris topogràfics, sent tots aquests elements fàcilment identificables a camp. La importància d'aquests estudi rau en les diferències en les propietats del sòl, que es poden explicar en gran part en les diferències de la circulació de l'aigua i distribució en el sistema (Fig. 7).

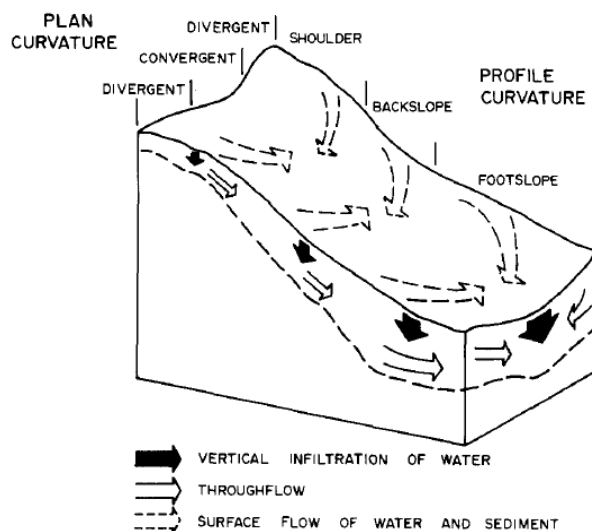


Fig. 2. Summary diagram of probable water movement and concentration associated with different landform elements in a hillslope system.

Figura 7: Relació del diagrama de moviment de l'aigua i la concentració en relació als diferents elements del terreny en una vessant (de PENNOCK, *et al* 1987)

Per últim també es va tenir en compte l'**orientació** de cada parcel·la. Es van realitzar quatre tipus diferents de classificació de l'orientació, segons ALTUN *et al* 2008 on considera 8 classes i les agrupa en dues (nord i sud), SUN *et al* 2008 on només realitza dos grups anomenats "protected" (316-135°) i "exposed" (136-315°), GODEFROID *et al* (2003) que considera quatre grups i SOCHA (2008), que realitza 8 grups (Taules 4, 5, 6 i 7).

Taula 4: Classes d'orientació segons la classificació realitzada per ALTUN *et al* (2008)

Classes	Orientació
1	Nord (est, nord, nordoest i nordest)
2	Sud (oest, sud, sudoest i sudest)

Taula 5: Classes d'orientació segons la classificació realitzada per SUN *et al* (2008)

Classes	Orientació
1	Protected (316-135°)
2	Exposed (136-315°)



Taula 6: Classes d'orientació segons la classificació realitzada per GODEFROID *et al* (2003)

Classes	Orientació
1	Nord (316-45°)
2	Est (46-135°)
3	Sud (136-225°)
4	Oest (226-315°)

Taula 7: Classes d'orientació segons la classificació realitzada per SOCHA (2008)

Classe	Orientació
1	N (337,5-22,5°)
2	NE (22,5-67,5°)
3	E (67,5-112,5°)
4	SE (112,5-157,5°)
5	S (157,5-202,5°)
6	SO (202,5-247,5°)
7	O (247,5-292,5°)
8	NO (292,5-337,5°)

3.2.3. ANÀLISIS REALITZATS

Els anàlisis es van realitzar de la següent manera:

Per a cada parcel·la del IFN3 amb una altura dominant determinada se li va assignar un àmbit bioclimàtic, i una classe de relleu a partir de les cobertures esmentades mitjançant el programa Arcmap. Les classes d'orientació per a cada parcel·la es van obtenir a partir de la informació d'orientació de cada parcel·la continguda a la base de dades del IFN3. D'aquesta forma per a cada parcel·la s'obtenia totes les dades a estudiar juntes (alçada dominant, àrea climàtica, relleu i orientació).

Amb aquestes dades es va realitzar una comparació de mitjanes d'altura dominant (H_o), mitjançant ANOVA i el test de DUNCAN amb el programa SPSS.



Aquesta comparació es va realitzar considerant dos casos:

- Totes les parcel·les del IFN3 amb més del 80% d'àrea basimètrica de pi roig (total pi roig, n=1086).
- Totes les parcel·les del IFN3 amb més del 80% d'àrea basimètrica de pi roig, on no s'hagi extret fusta en els 10 anys anteriors a la mesura del IFN3 (total pi roig no extret, n=720), per tal de discriminar, donat el cas, el possible efecte de tallades de selecció negativa sobre l'alçada dominant.

3.3. RELACIÓ ENTRE L'ÍNDEX D'ESTACIÓ (SI) I VARIABLES ECOLÒGIQUES

L'estudi de la relació entre l'índex d'estació i variables ecològiques, es va portar a terme a partir de 42 parcel·les aixecades a camp.

En cadascuna d'aquestes parcel·les, es va obtenir dades de l'índex d'estació a partir de les corbes de PALAHÍ, *et al* (2004) i un seguit de variables ecològiques:

- Variables climàtiques (àmbits bioclimàtics, precipitació anual, precipitació estival, temperatura mitjana anual, temperatura màxima juliol i temperatura mínima gener).
- Variables fisiogràfiques (altitud, pendent, orientació, posició fisiogràfica).
- Variables edàfiques (profunditat d'arrelament, reacció de carbonats i % elements grossos).

Per últim també es van obtenir variables dasomètriques (àrea basimètrica, diàmetre mitjà, diàmetre mitjà quadràtic, diàmetre dominant, fracció de cabuda coberta i número de peus per hectàrea) per estudiar la relació entre variables dasomètriques i índex d'estació.



3.3.1. SELECCIÓ DE LA MOSTRA

3.3.1.1. Condicions

En primer lloc, es va seleccionar un conjunt de rodals adequats per aixecar les parcel·les i obtenir un índex d'estació representatiu. Els rodals havien de complir els següents requisits:

- Rodals purs de pi roig.
- Rodals regulars.
- Gestionats amb una silvicultura on no s'hagi alterat l'estat dominant i codominant. És a dir on no s'hagi practicat tallades de selecció diamètriques.
- Situats en un rang altitudinal comprès entre 800 fins als 1600 m.
- Fracció de cabuda coberta superior al 60%
- Edat compresa entre els 40 i els 80 anys.
- Àrea basimètrica superior als 20 m²/ha.

Es va establir com a restricció que els rodals havien d'estar situats en boscos públics, per tal de tenir informació fiable sobre la silvicultura passada i confirmar que s'haguessin gestionat en el passat com a masses regulars i on no s'hagi alterat l'estat dominant i codominant.

3.3.1.2. Selecció dels rodals

Per a la selecció dels rodals per tota la zona d'estudi es va tenir en compte el criteri de distribució en l'espai, els rodals havien d'estar situats en boscos públics de l'àmbit pirinenc i prepirinenc, distribuïts proporcionalment a la superfície de pi roig que aporta cada comarca i tenint en compte un número mínim de rodals per garantir que quedessin proporcionalment ben cobertes les posicions fisiogràfiques (part superior de vessant, mitja pendent, part inferior de vessant i divisòries) i les quatre orientacions bàsiques.

Finalment, tot i no ser un criteri determinant, es va intentar escollir com primera opció aquells rodals de més fàcil accés per tal de poder facilitar les feines de camp.

Per a la selecció dels rodals on posteriorment i aixecaríem les parcel·les, el primer que es va fer es posar-se en contacte amb els diferents enginyers de comarca



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

de la zona d'estudi, perquè ens assenyalessin rodals que complissin les característiques que prèviament s'havien determinat.

Per una altra banda també es van cercar altres rodals (a banda dels que ens poguessin indicar els enginyers, o en cas de no rebre resposta per la seva banda) i per tenir totes els posicions fisiogràfiques i orientacions cobertes.

En primer lloc, es van seleccionar aquelles parcel·les de l'IFN3 que estaven situades en boscos públics (utilitzant la capa CUPCAT, Generalitat de Catalunya). En segon lloc, es van eliminar totes aquelles parcel·les que no complissin els requisits establerts (parcel·les no regulars, amb tallades durant els darrers 10 anys, $AB > 20 \text{ m}^2/\text{ha}$). Finalment, a partir de la localització de les parcel·les restants, seleccionades a partir de fotointerpretació sobre ortofotomapa aquelles zones que a priori s'adeqüessin a les condicions fixades

Els rodals seleccionats es visitaven i es confirmava que complissin el total de condicions. En cas afirmatiu, es mesurava una parcel·la.

3.3.1.3. Número final de parcel·les realitzades

Inicialment no es va determinar un nombre exacte de parcel·les de mostreig a realitzar, encara que de manera aproximada es van estimar un nombre comprès entre 32 i 48 parcel·les. Finalment es van realitzar 42 parcel·les.

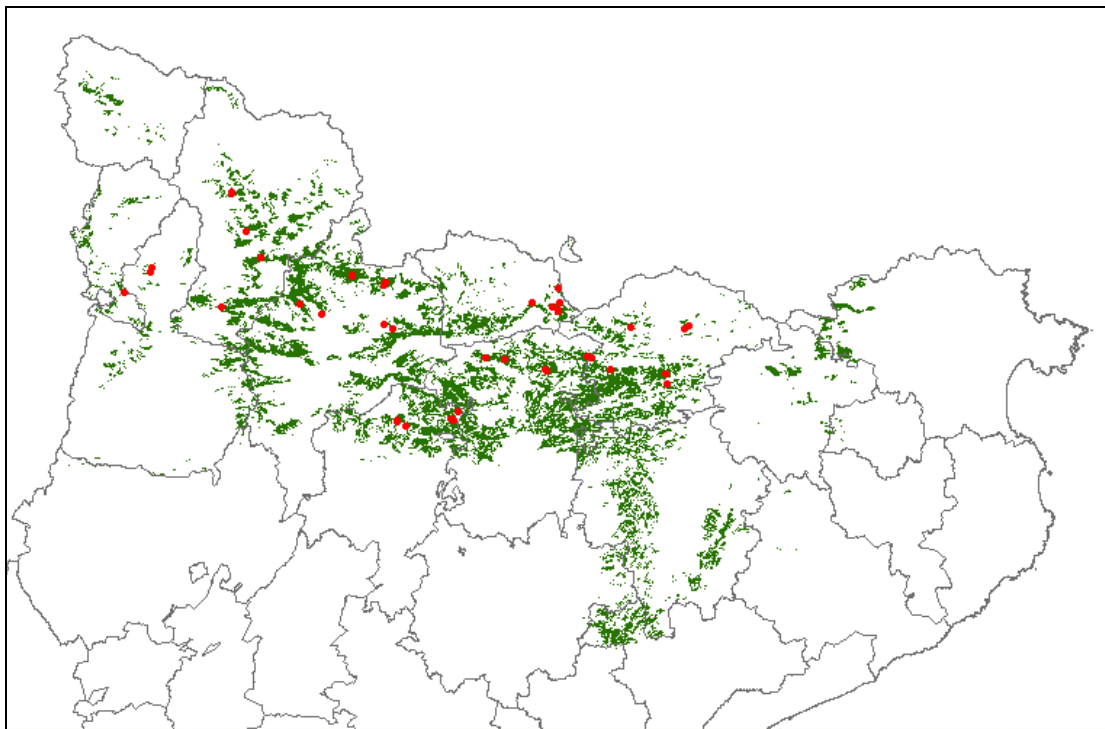


Figura 8: Distribució de les parcel·les realitzades a camp.

3.3.2. PRESA DE DADES

La selecció de parcel·les i la seva posterior realització sempre es va dur a terme per un número mínim de dues persones, i consistia en desplaçar-se fins els rodals prèviament seleccionats i un cop allà decidir si en aquell rodal es podia realitzar una parcel·la i en el cas afirmatiu decidir si se'n podia fer més d'una. Les parcel·les es situaven de manera dirigida en un lloc representatiu del rodal.

3.3.2.1. Mesura de les parcel·les

Les parcel·les d'inventari eren circulars amb un radi de 8m (en projecció ortogonal), per tant amb una superfície total de 200 m².

Variables mesurades:

1. Dades d'identificació de la parcel·la. S'apunten totes aquelles dades per a la identificació de la parcel·la, com és el número de parcel·la, la data de la presa de dades, la seva localització i les seves coordenades UTM, que es prenen amb el GPS.
2. Variables de la fisiografia de la parcel·la.
 - Altitud: obtinguda a partir de GPS.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

- Pendent: en tant per cent, es mesurava mitjançant el hipsòmetre Blume-Leiss.
- Orientació: en graus, mesurada amb la brúixola.
- Posició fisiogràfica: es determinava a partir d'estimació visual, classificant segons posicions (Annex 1):
 - Part superior de vessant.
 - Mitja vessant.
 - Part inferior de vessant.
 - Fons de vall.
 - Divisòries.

3. Variables dasomètriques.

- Diàmetre mitjà de tots els arbre inventeriables, mitjançant la cinta pi. Considerant arbres inventariables tots aquells de classe diamètrica superior a 7,5 cm.
- Altura dominant dels dos arbres més gruixuts per parcel·la, mitjançant el hipsòmetre VERTEX IV
- Edat dels dos arbres més gruixuts per parcel·la, a partir de compteig d'anells en un testimoni extret amb la barrina de Pressler.
- Fracció de cabuda coberta, calculada a partir d'estimació visual.

4. Variables edàfiques.

- Profunditat efectiva d'arrelament a partir d'excavació d'una calicata, entenent per aquesta la profunditat fins el material original, horitzó compacte, graves o qualsevol capa que impedeixi la penetració de les arrels.
- Reacció de carbonats, la presència s'establia mitjançant l'aplicació d'àcid clorhídric de concentració al 11% en volum damunt d'una mostra de sòl (FAO, 2006), segons la efervescència del CO₂ i el soroll es classificava segon la següent taula.



Taula 8: Reacció del carbonats.

% en volum de carbonats	Efervescència	Reacció audible
>20%	Bombolles grans formant una espuma alta	Si
5-15%	Bombolles petites formant una espuma baixa	Si
<5%	No bombolles	Si
0%	No bombolles	No

- Tan per cent d'element grossos: Estimació del % amb suport del quadre elaborat per la FAO (2006) (Annex 2) per a calcular el % d'aquests.

Figura 9: Fotos metodologia



1



2



3



4

Imatge 1: mesura de tots els diàmetres de parcel·la i presa de dades.

Imatge 2: mesura de l'altura dominant a partir de l' hipsòmetre VERTEX IV.

Imatge 3: extracció d'un testimoni amb la barrina de Pressler.

Imatge 4: obertura de la calicata.



3.3.2.2. Obtenció de dades de les variables ecològiques a partir de cartografia temàtica

A partir de les coordenades UTM obtingudes a camp, es van obtenir els valors d'una sèrie de variables ecològiques mitjançant el programa ArcGis. Les capes utilitzades van ser:

- Climàtiques: obtingudes a partir de l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya (NINYEROLA *et al* 2000), on es van pendre les següents variables:
 - Temperatura mitjana anual.
 - Temperatura mitjana de les mínimes de Gener.
 - Temperatura mitjana de les màximes de Juliol.
 - Precipitacions mitjana anual.
 - Precipitacions estivals.
- Àmbits bioclimàtics: determinats per MOREÉ *et al* (2005).
- Relleu: a partir del mapa de relleu elaborat per GARRIDO, *et al* (2008).

3.3.2.3. Càlcul dels paràmetres dasomètrics de cada parcel·la

De cada parcel·la, es van calcular els següents paràmetres dasomètrics:

- Àrea basimètrica.
- Altura dominant: calculada com la mitjana dels dos arbres més gruixuts per parcel·la.
- Diàmetres: els diàmetres calculats van ser
 - Diàmetre mitjà aritmètic.
 - Diàmetre mitjà quadràtic.
 - Diàmetre dominant d'Assmann → diàmetre mitjà dels 100 arbres més gruixuts per hectàrea.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

- Fracció de cabuda coberta: calculada en tant per cent.
- Número de peus per hectàrea.
- Índex d'estació, calculat a partir de les corbes de PALAHÍ *et al* (2004).
L'equació utilitzada va ser la següent:

$$SI=100/(3,119+0,186269-0,03119 \cdot F2-(18,6269/F2)+(F2/E2))$$

on F2= Edat parcel·la

E2= altura dominant

3.3.4. ANÀLISI DE LES DADES

Aquests anàlisis es van estructurar en tres parts:

En primer lloc es va analitzar la influència de les variables ecològiques respecte l'índex d'estació (SI). Es va subdividir aquesta part en tres subapartats, que són:

- Variables climàtiques
- Variables fisiogràfiques
- Variables edàfiques

En segon lloc, es va analitzar la relació entre variables dasomètriques i l'índex de qualitat d'estació (SI).

En tercer lloc es va analitzar la relació entre posició fisiogràfica i profunditat efectiva d'arrelament. Aquests apartat es va dividir en dos subapartats:

- Diferència entre les posicions fisiogràfiques observades a camp i les extreïdes a partir del Model Digital del Terreny.
- Relació entre posició fisiogràfica i profunditat efectiva d'arrelament, tant per la posició fisiogràfica estimada a camp com per la posició fisiogràfica obtinguda a partir del Model Digital del Terreny. Un cop realitzats aquests dos anàlisis es va procedir a comparar els resultats obtinguts.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

Els anteriors anàlisis es van analitzar a partir de dos mètodes, a partir de diagrames de dispersió utilitzant el programa Microsoft Office Excel 2003 i per altra banda es va realitzar una comparació de mitjanes mitjançant ANOVA i test de DUNCAN mitjançant el programa SPSS.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ



4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

4.1. RELACIÓ ENTRE L'ALÇADA DOMINANT (H_0) I VARIABLES ECOLÒGIQUES EN BASE A L'INF3.

4.1.1. EFECTE DE L'ÀREA CLIMÀTICA SOBRE L'ALTURA DOMINANT

La taula 9 presenta els àmbits climàtics de MORÉ *et al* (2005).

Taula 9: Àmbits bioclimàtics

Àmbits bioclimàtics	Descripció
1	Temperatura molt alta a l'estiu i mitjana al hivern. Precipitació molt baixa. Radiació alta.
2	Temperatura alta a l'estiu i mitjana al hivern. Precipitació baixa. Radiació mitjana.
3	Temperatura mitjana. Precipitació mitjana. Radiació alta.
4	Temperatura alta. Precipitació mitjana en l'estació humida i mot baixa en l'estació seca. Radiació alta.
5	Temperatura moderadament baixa. Precipitació mitjana. Radiació alta.
6	Temperatura alta. Precipitació molt alta en l'estació humida i mitjana en l'estació seca. Radiació mitjana.
7	Temperatura mitjana. Precipitació molt alta en l'estació humida i alta en l'estació seca. Radiació alta.
8	Temperatura molt baixa. Precipitació molt alta. Radiació molt alta.
9	Temperatura molt baixa. Precipitació molt alta. Radiació molt baixa.

A les taules 10 i 11 es mostren els resultats obtinguts en l'estudi on es relaciona àrea climàtica i alçada dominant.



Taula 10: N° de parcel·les, valors de la mitjana de H_0 i desviació típica per àrees climàtiques de Moré *et al* (2005).

Àrea climàtica		Col·lectius	
		Total <i>Pinus sylvestris</i>	Total <i>Pinus sylvestris</i> no extracció
3	Nº parcel·les	198	132
	Mitjana	12,71	12,58
	Desviació típica	2,79	2,97
5	Nº parcel·les	457	295
	Mitjana	12,98	12,66
	Desviació típica	3,18	3,12
7	Nº parcel·les	136	83
	Mitjana	12,78	12,78
	Desviació típica	3,04	3,20
8	Nº parcel·les	167	123
	Mitjana	12,15	11,91
	Desviació típica	3,06	2,77
9	Nº parcel·les	88	53
	Mitjana	14,21	14,13
	Desviació típica	3,35	3,30



Taula 11: Relació entre àrea climàtica – alçada dominant. Comparació de mitjanes i grups d'acord al test de Duncan ($p < 0,05$).

COL·LECTIU	ÀREA CLIMÀTICA	SIGNIFICACIÓ ANOVA	GRUPS DUNCAN	GRÀFIC
Total <i>P. Sylvestris</i>	3, 5, 7, 8, 9	0.001	8 ¹ , 3 ¹ , 7 ¹ , 5 ¹ , 9 ²	
Total <i>P. sylvestris</i> no extracció	3, 5, 7, 8, 9	0.000	8 ¹ , 3 ¹ , 5 ¹ , 7 ¹ , 9 ²	

Dels resultats obtinguts de l'estudi realitzat amb les dades del IFN3, es pot destacar:

- Les altures dominants (H_d) mitjanes considerant totes les parcel·les pures de pi roig del INF3 (Total *Pinus sylvestris*) i també totes les parcel·les pures sense tallades els 10 anys anteriors a les mesures (Total *P. sylvestris* no extracció) ens indiquen que la millor àrea bioclimàtica per al desenvolupament del pi roig és la 9 (temperatura molt baixa, precipitació molt alta, radiació molt baixa), que a més és significativament diferent a la resta d'àrees climàtiques d'acord amb el test de Duncan ($p < 0,05$). La resta d'àrees climàtiques no serien significativament diferents entre elles d'acord al test de Duncan ($p < 0,05$).

- Els resultats globals ens mostren una seqüència lògica d'increment de qualitat d'acord a una major pluviometria, a temperatures més fredes i a un efecte de l'obaga. De menor a major qualitat, apareixen les àrees 3, 7, 5 i 9.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

- En tots els casos, però apareix l'àrea 8 com la de menor altura dominant (H_o) mitjana. Aquest baix valor que assoleix l'altura dominant (H_o) mitjana de l'àrea climàtica 8 (Temperatura molt baixa. Precipitació molt alta. Radiació molt alta) representaria les solanes amb les mateixes característiques termopluviomètriques que la zona 9. Aquest resultat a primera vista no sembla molt lògic, on segons l'ecologia del pi roig la millor zona pel desenvolupament de l'espècie seria la 8, on la radiació és molt més elevada i això ajuda al desenvolupament de l'espècie. Una interpretació d'aquests resultat pot ser que aquestes zones on el creixement del pi roig seria òptim, l'home les ha aprofitades històricament per zones de pastures pel bestiar degut a que són zones amb una elevada producció i qualitat de pastura. D'aquesta manera, l'actual arbrat no reflexa el potencial de l'estació on la coberta ha estat alterada pel pastoreig, el foc, l'adevesament, i els arbres s'han desenvolupat en molts casos isolats i amb força llum lateral, fet que altera el creixement en alçada.

D'altra banda, l'àmbit bioclimàtic 7 (Temperatura mitjana, precipitació molt alta en estació humida i alta en estació seca i radiació alta) no mostra en tots dos casos major H_o respecte l'àmbit bioclimàtic 5, que *a priori* semblaria presentar pitjors condicions pel desenvolupament del pi roig ja que la seva precipitació és menor. Una possible interpretació podria venir donada per la dinàmica forestal actual d'aquestes àrees més plujoses, ja que actualment ens trobaríem en una fase de transició conífera-frondosa on el desenvolupament del pi roig es veu dificultat per una forta competència amb les frondoses (faig i roures martinenc i de fulla gran). Això estaria d'acord amb COSTA *et al* (1998), que afirmen que una gran part de les rouredes pirinenques de *Quercus humilis* són actualment densos boscos de pi roig que sovint es continuen amb els boscos de pi roig montans, constituint immenses poblacions fisiognòmicament homogènies i florísticament similars, quedant emmascarats els límits entre unes i altres.



4.1.2. EFECTE DEL RELLEU SOBRE L'ALTURA DOMINANT

La taula 12 presenta la classificació del relleu utilitzada, GARRIDO *et al* (2008).

Taula 12: Classificació del relleu.

Relleu	Classificació
1	Part superior de vessant
2	Mitja pendent
3	Part inferior de vessant
4	Altiplans
5	Divisòries
6	Fons de vall

A la taula 13 es mostren els resultats obtinguts en l'estudi on es relacionen relleu i alçada dominant.

Taula 13: N° de parcel·les, valors de la mitjana de H_0 i desviació típica per la classificació del relleu realitzada per GARRIDO *et al* (2008).

Relleu		Col·lectius	
		Total <i>Pinus sylvestris</i>	Total <i>Pinus sylvestris</i> no extracció
1	N° parcel·les	275	167
	Mitjana	12,76	12,69
	Desviació típica	3,21	3,20
2	N° parcel·les	292	199
	Mitjana	12,33	12,03
	Desviació típica	3,03	2,86
3	N° parcel·les	380	262
	Mitjana	13,21	12,81
	Desviació típica	3,11	3,14
4	N° parcel·les	*	*
	Mitjana		
	Desviació típica		
5	N° parcel·les	97	64
	Mitjana	12,71	12,76
	Desviació típica	3,17	3,27
6	N° parcel·les	37	*
	Mitjana	13,73	
	Desviació típica	2,66	

* n inferior a 30 parcel·les de mostreig (tamany mínim mostra)



La taula 14 ens mostra la relació entre el relleu i l'alçada dominant.

Taula 14: Relació entre classificació relleu – alçada dominant. Comparació de mitjanes i grups d'acord al test de Duncan ($p < 0,05$).

COL·LECTIU	RELLEU	SIGNIFICACIÓ ANOVA	GRUPS DUNCAN	GRÀFIC
Total <i>P. Sylvestris</i>	1, 2, 3, 5, 6	0.003	2 ¹ , 5 ¹ , 1 ¹ , 3 ^{1,2} , 6 ²	
Total <i>P. Sylvestris</i> no extracció	1, 2, 3, 5	0.047	No subconjunts	

Els resultats obtinguts pel que fa referència a la posició de la vessant indiquen que les millors posicions fisiogràfiques són els fons de valls i les parts baixes de vessant, un resultat *a priori* força lògic. D'altra banda, apareix la posició de mitja vessant com la pitjor (tot i que sense ser significativament diferent de les divisòries i de les parts altes de vessant). Això podria ser degut a que en les parts mitges de vessant és on hi ha hagut més intervenció de l'home a l'hora de tallar.

4.1.3. EFECTE DE L'ORIENTACIÓ SOBRE L'ALTURA DOMINANT

Les taules 15, 16, 17 i 18 que representen quatre tipus diferents de classificació de l'orientació.



Taula 15: Classes d'orientació segons la classificació realitzada per ALTUN *et al* (2008)

Classes	Orientació
1	Nord (est, nord, nordoest i nordest)
2	Sud (oest, sud, sudoest i sudest)

Taula 16: Classes d'orientació segons la classificació realitzada per SUN *et al* (2008)

Classes	Orientació
1	Protected (316-135°)
2	Exposed (136-315°)

Taula 17: Classes d'orientació segons la classificació realitzada per GODEFROID *et al* (2003)

Classes	Orientació
1	Nord (316-45°)
2	Est (46-135°)
3	Sud (136-225°)
4	Oest (226-315°)

Taula 18: Classes d'orientació segons la classificació realitzada per SOCHA (2008)

Classe	Orientació
1	N (337,5-22,5°)
2	NE (22,5-67,5°)
3	E (67,5-112,5°)
4	SE (112,5-157,5°)
5	S (157,5-202,5°)
6	SO (202,5-247,5°)
7	O (247,5-292,5°)
8	NO (292,5-337,5°)



A la taula 19 es mostren els resultats obtinguts en l'estudi on es relacionen les diferents orientacions i alçada dominant.

Taula 19: N° de parcel·les, valors de la mitjana de H_0 i desviació típica per les diferents orientacions.

Orientació		Col·lectius							
		ALTUN <i>et al</i> (2008)		SUN <i>et al</i> (2008)		GODEFROID <i>et al</i> (2003)		SOCHA (2008)	
		Total <i>Pinus sylvestris</i>	Total <i>Pinus sylvestris</i> no extracció	Total <i>Pinus sylvestris</i>	Total <i>Pinus sylvestris</i> no extracció	Total <i>Pinus sylvestris</i>	Total <i>Pinus sylvestris</i> no extracció	Total <i>Pinus sylvestris</i>	Total <i>Pinus sylvestris</i> no extracció
1	n	568	365	557	356	308	192	168	103
	Mitj	13,13	12,9	13,1	13,0	13,4	13,3	13,7	13,5
	σ	3,1	3,1	3,1	3,1	3,3	3,1	3,0	3,0
2	n	514	351	525	360	248	164	139	84
	Mitj	12,5	12,2	12,5	12,2	12,7	12,6	13,3	13,3
	σ	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0	3,0	3,4	3,4
3	n					253	173	118	83
	Mitj					12,3	12,0	12,6	12,4
	σ					3,1	3,0	3,0	2,9
4	n					273	187	121	80
	Mitj					12,8	12,3	12,2	12,1
	σ					3,1	3,1	3,2	3,1
5	n							129	92
	Mitj							12,5	12,0
	σ							3,2	3,0
6	n							125	86
	Mitj							12,2	12,1
	σ							2,9	3,0
7	n							139	93
	Mitj							12,9	12,6
	σ							3,1	3,2
8	n							143	95
	Mitj							12,7	12,4
	σ							3,0	2,9

A la taula 20 es mostren els resultats obtinguts en l'estudi on es relacionen l'orientació i l'altura dominant.



Taula 20: Relació entre classificació orientació – alçada dominant. Comparació de mitjanes i grups d'acord al test de Duncan ($p < 0,05$).

Col·lectiu	ORIENTACIÓ	SIGNIFICA- CIÓ ANOVA	GRUPS DUNCAN	GRÀFIC
Total <i>Pinus sylvestris</i>	Altun <i>et al</i> (2008).	0.001	-	
Total <i>Pinus sylvestris</i> no extracció	Altun <i>et al</i> (2008).	0.003	-	
Total <i>Pinus sylvestris</i>	Sun <i>et al</i> (2008)	0.000	-	



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

Total <i>Pinus sylvestris</i> no extracció	Sun <i>et al</i> (2008)	0.001	-	<p>Sun <i>et al</i> (2008)</p>
Total <i>Pinus sylvestris</i>	Godefroid (2003)	0.000	3 ¹ , 4 ¹ , 2 ¹ , 1 ²	<p>Godefroid <i>et al</i> (2003)</p>
Total <i>Pinus sylvestris</i> no extracció	Godefroid (2003)	0.001	3 ¹ , 4 ¹ , 2 ¹ , 1 ²	<p>Godefroid <i>et al</i> (2003)</p>
Total <i>Pinus sylvestris</i>	Socha <i>et al</i> (2008)	0.000	6 ¹ , 4 ¹ , 5 ¹ , 3 ^{1,2} , 8 ^{1,2} , 7 ^{1,2,3} , 2 ^{2,3} , 1 ³	<p>Socha (2008)</p>



<p>Total <i>Pinus sylvestris</i> no extracció</p>	<p>Socha <i>et al</i> (2008)</p>	<p>0.003</p>	<p>5¹, 4¹, 6¹, 8^{1,2}, 3^{1,2}, 7^{1,2,3}, 2^{2,3}, 1³</p>	
--	----------------------------------	--------------	---	--

Pel que fa a l'orientació, de les proves realitzades s'ha pogut extreure que:

- Apareixen diferències significatives en tots els tipus diferents de classificació de l'orientació que s'han analitzat, sent clarament millor en tots els cassos l'orientació nord, nord-est respecte a la sud. El fet que l'orientació d'obaga aparegui com a millor és un resultat lògic (les obagues sempre s'han considerat millor) i a més coincideix amb els resultats de l'estudi de l'efecte de les àrees climàtiques, on les àrees de baixa radiació (obagues) sempre es comportaven millor que les àrees amb mateixa pluviometria però alta radiació (solanes).

4.2. RELACIÓ ENTRE L'ÍNDEX D'ESTACIÓ (SI) I VARIABLES ECOLÒGIQUES

4.2.1. INFLUÈNCIA DE LES VARIABLES ECOLÒGIQUES VERS L'ÍNDEX D'ESTACIÓ (SI)

4.2.1.1. Variables climàtiques

A la taula 21 es mostra els anàlisis realitzats per comprovar la relació entre l'índex d'estació i les diferents variables climàtiques analitzades.

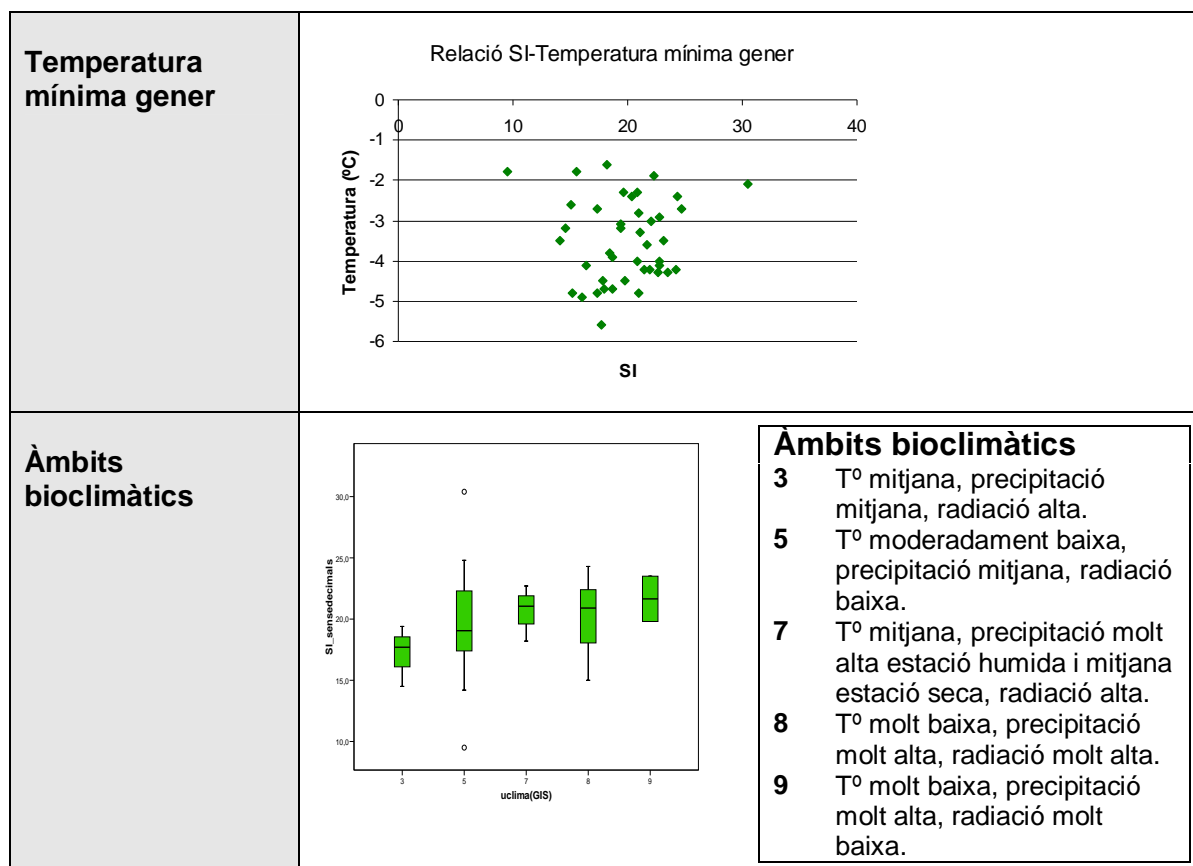


Taula 21: Relació entre variables climàtiques – SI. Comparació de mitjanes i grups d'acord al test de Duncan ($p < 0,05$).

Variables estudiades	Gràfic
Precipitació anual	<p>Relació SI-Precipitació anual</p>
Precipitació estival	<p>Relació SI-Precipitació estival</p>
Temperatura mitjana anual	<p>Relació SI-Temperatura mitjana anual</p>
Temperatura màxima juliol	<p>Relació SI-Temperatura màxima juliol</p>



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.



La taula 22 mostra el número de parcel·les, els valors mitjans de SI i la desviació típica per àmbits bioclimàtics

Taula 22: N° de parcel·les, valors de la mitjana de SI i desviació típica per àrees climàtiques de Moré *et al* (2005).

Sig.	Àmbits bioclimàtics														
	3			5			7			8			9		
	n	Mitj	σ	n	Mitj	σ	n	Mitj	σ	n	Mitj	σ	n	Mitj	σ
0,655	3	17,2	2,5	22	19,6	4,2	4	20,7	1,9	11	20,3	3,3	2	21,6	2,6

Dels resultats anteriors es pot extreure que:

- La precipitació anual de les parcel·les realitzades es troba compresa entre els 700 i els 1300 mm anuals. No s'observa una relació clara entre les dos variables, això pot ser degut a que ens trobem en una zona força delimitada, però sempre superant els 600 mm en totes les parcel·les, sent aquest valor la



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

precipitació mitja anual mínima per a un bon desenvolupament de l'espècie (GALÁN *et al*, 1998).

- Pel que fa a la precipitació a l'estiu les parcel·les es troben entre els 200 i els 500 mm. Dins d'aquest rang no s'observa una relació clara entre ambdós variables, això pot estar causat perquè en totes les parcel·les es produeix una precipitació superior als 200 mm en els mesos d'estiu, sent aquest valor un requisit imprescindible per al bon desenvolupament de l'espècie en el cas dels Pirineus (GALÁN *et al*, 1998).

- La temperatura mitjana anual es troba compresa entre els 6 i els 12°C, la temperatura màxima del juliol la trobem compresa entre els 18 i els 27°C i la temperatura mínima gener la trobem entre els -1,5 i -6°C. En cap dels tres casos s'observa una relació clara entre les dues variables, això pot ser degut a que és una espècie que és resistent a gelades, vents i nevades, així com a oscil·lacions elevades del cicle tèrmic anual (GALÁN *et al* 1998).

- Respecte als àmbits bioclimàtics, l'índex d'estació (SI) no mostra diferències significatives ($p = 0.655$). No obstant, els valors mitjans de SI ens mostren una seqüència lògica d'increment de qualitat d'acord a una major pluviometria, a temperatures més fredes i a un efecte de l'obaga. De menor a major qualitat, apareixen les àrees 3, 5, 7 i 9, sent en aquests cas la 8 pitjor que les àrees 7 i 9. Aquest resultat coincideix amb el anàlisi realitzat amb les dades del IFN3 on es relacionaven l'àmbit bioclimàtic i l'altura dominant.



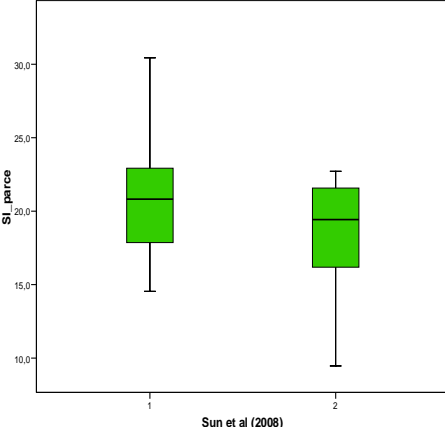
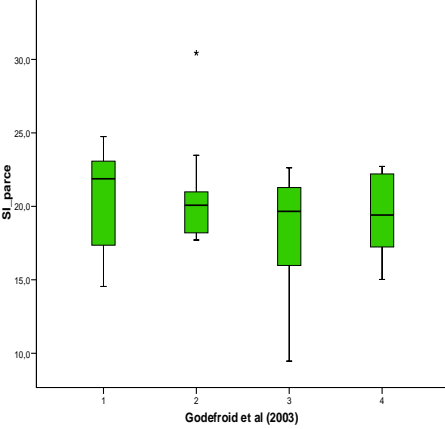
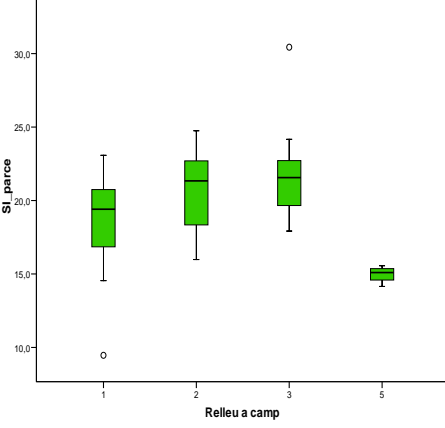
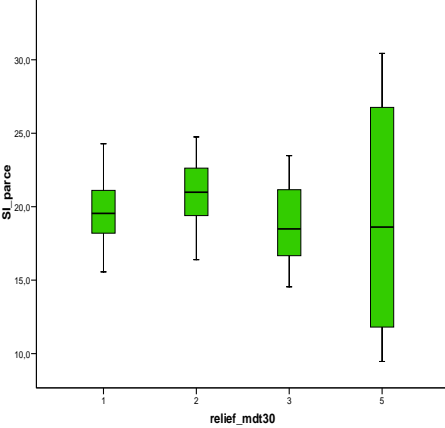
4.2.1.2. Variables fisiogràfiques

En la Taula 23, es presenten els anàlisis realitzats per estudiar la relació entre l'índex d'estació i les variables fisiogràfiques.

Taula 23: Relació entre variables fisiogràfiques – SI. Comparació de mitjanes i grups d'acord al test de Duncan ($p < 0,05$).

Variables fisiogràfiques	Gràfic
Altitud	<p>Relació SI-Altitud</p>
Pendent	<p>Relació SI-Pendent</p>
Orientació segons Altun et al (2008)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Altun et al 2008</p> <p>1 Nord (292,5-111,5°)</p> <p>2 Sud (112,5-291,5°)</p> </div>



<p>Orientació segons Sun et al (2008)</p>		<p>Sun et al 2008</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Protected (316-135°) 2 Exposed (136-315°)
<p>Orientació segons Godefroid et al (2003)</p>		<p>Godefroid et al 2003</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Nord (316-45°) 2 Est (46-135°) 3 Sud (136-225°) 4 Oest (226-315°)
<p>Posició fisiogràfica segons classificació a camp</p>		<p>Posició fisiogràfica segons classificació a camp</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Part superior de vessant 2 Mitja vessant 3 Part inferior de vessant i fons de valls 5 Divisòries
<p>Posició fisiogràfica segons Garrido et al (2008)</p>		<p>Posició fisiogràfica segons Model Digital del Terreny</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Part superior de vessant 2 Mitja vessant 3 Part inferior de vessant i fons de valls 5 Divisòries



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

A continuació es mostren dos taules amb els respectius resultats pel que fa respecte SI-Orientació i SI-Posició fisiogràfica.

Taula 24: N° de parcel·les, valors de la mitjana de SI i desviació típica per les diferents orientacions.

	Sig.	Orientació											
		1			2			3			4		
		n	Mitj	σ	n	Mitj	σ	n	Mitj	σ	n	Mitj	σ
Altun et al (2008)	0,412	23	20,2	2,9	19	19,3	4,4						
Sun et al (2008)	0,109	23	20,6	3,6	19	18,8	3,6						
Godefroid et al (2003)	0,401	13	20,5	3,6	10	20,8	3,8	11	18,4	4,1	8	19,4	2,9

TAULA 25: N° de parcel·les, valors de la mitjana de SI i desviació típica per la classificació del relleu realitzades a camp i per GARRIDO et al (2008).

	Sig.	Posició fisiogràfica											
		1			2			3			5		
		n	Mitj	σ	n	Mitj	σ	n	Mitj	σ	n	Mitj	σ
Camp	0,001	12	18,3	3,6	16	20,7	2,7	10	22,0	3,5	4	14,9	0,6
GIS	0,457	6	19,7	2,9	17	20,9	2,4	15	18,8	2,9	4	19,3	9,3

Pel conjunt de totes les parcel·les en podem extreure els següents resultats:

- L'altitud de les parcel·les es troba compresa entre els 800 i els 1800m d'altitud. No s'observen tendències significatives, això ens està confirmant l'ecologia de l'espècie, on ens diu que el pi roig ocupa una ampla varietat d'altituds, trobant-lo en el cas de Catalunya des dels 300m fins als 2000 m. (GALÁN et al 1998) i en l'estudi no tenim cap parcel·la que estigui per sobre o per sota d'aquests valors.
- Pel que fa al pendent, en les parcel·les realitzades i trobem tot tipus de pendent, però la majoria de parcel·les es troben entre un 40 i un 60%. S'observa que per pendents superiors al 60% i inferiors al 20% l'índex d'estació disminueix. En les zones d'un pendent inferior al 20%, l'índex d'estació baix es



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

podria explicar perquè històricament havien estat transformades en zones de pastures o conreus i les poques zones on tenim aquests pendent actualment són zones dolentes on no era viable aquesta transformació.

- Relació entre l'índex d'estació i dues orientacions (Altun *et al* 2008 i Sun *et al* 2008), en cap dels dos casos apareixen diferències significatives, mirant el gràfic es pot veure que la zona amb millor qualitat d'estació són les corresponents a l'orientació nord, mentre que les de pitjor qualitat d'estació són les que corresponen a l'orientació sud. L'índex d'estació segons quatre orientacions (Godefroid *et al* 2003) no mostra diferències significatives tot i que les mitjanes mostren que les zones amb millor qualitat d'estació són les que corresponen a l'orientació nord i est, això té una explicació coherent ja que són les zones amb una radiació més baixa, per tant el seu dèficit hídric és menor.

- Relació entre l'índex d'estació i la posició fisiogràfica segons classificació a camp: en les proves realitzades si que hi trobem significació, també hi trobem subgrups (5^1 , 1^2 , $2^{2,3}$ i 3^3), observant el gràfic podem veure que les zones de pitjor qualitat són les divisòries i les millors zones les parts baixes de vessant.

- Relació entre l'índex d'estació i la posició fisiogràfica segons Garrido *et al* (2008): no hi ha significació, el que trobem diferent respecte a la classificació a camp és que en aquest cas les pitjors zones són les parts inferiors de vessant, seguides de les divisòries, les parts altes de vessant, però amb una diferència molt baixa entre elles. Trobem com a millor zona la mitja vessant.



4.2.1.3. Variables edàfiques

A continuació en la taula 26 es mostren els anàlisis realitzats per estudiar una possible relació entre l'índex d'estació i diferents variables edàfiques.

Taula 26: Relació entre variables edàfiques – SI. Comparació de mitjanes i grups d'acord al test de Duncan ($p < 0,05$).

Variables edàfiques	Gràfic
Profunditat d'arrelament	<p>Relació SI-Profunditat arrelament</p> <p>$y = 40,889\ln(x) - 74,363$ $R^2 = 0,2783$</p> <p>◆ Profunditat arrelament (cm) — Logarítmica (Profunditat arrelament (cm))</p>
Tan per cent d'elements grossos	<p>Relació SI-Elements grossos</p> <p>◆ Elements grossos (%)</p>
Reacció de carbonats	<p>SI, parce</p> <p>%carbonats</p> <div> <p>Rang de Carbonats</p> <p>1 No carbonats</p> <p>2 <5% de carbonats</p> <p>3 5-15% de carbonats</p> <p>4 >20% de carbonats</p> </div>



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

A la següent taula ens mostra els resultat obtinguts de relacionar SI-% Carbonats.

TAULA 27: N° de parcel·les, valors de la mitjana de SI i desviació típica pel rang de reacció de carbonats.

	Sig.	Rang de reacció de carbonats											
		1			2			3			4		
		n	Mitj	σ	n	Mitj	σ	n	Mitj	σ	n	Mitj	σ
Parcel·les	0,411	19	20,2	3,2	5	19,4	1,9	8	21,1	2,5	10	18,3	5,5

Dels anàlisis realitzats a partir de variables edàfiques en podem extreure els següents resultats:

- Relació forta entre l'índex d'estació i la profunditat d'arrelament ($r=0.537$), sent aquesta la correlació més elevada respecte l'índex d'estació. Aquesta relació ens confirma el que apunta els estudis realitzats per OLARIETA (2001) per a la mateixa espècie on diu que el creixement del *Pinus sylvestris* està relacionat més que cap altra variable amb la profunditat d'arrelament, a més els resultats per a altres espècies de l'àmbit mediterrani i submediterrani (RODRÍGUEZ, 2008) també coincideixen.

- El rang d'elements grossos és variable, comprés entre el 0 i el 70 %, però la majoria dels casos es troben en un tant per cent moderat. No s'observa una relació clara entre l'índex d'estació i el percentatge d'elements grossos, tot i que s'intueix que percentatges superiors al 40% poden afectar negativament a la qualitat d'estació. Per altra banda, encara que la presència d'elements grossos suposa un menor volum útil del sòl, en grau moderat, poden implicar un factor favorable al desenvolupament arbori ja que milloren el drenatge, evitant entollaments, i mantenen la humitat.

- No s'han trobat diferències significatives entre les mitjanes dels índex d'estació per rangs de reacció als carbonats, tot i que les mitjanes indiquen que les zones de pitjor qualitat són les que tenen un proporció de carbonats més elevada, entre 5-15%. Aquests resultat pot ser degut a que l'espècie és indiferent al substrat i perquè en les zones on se situa l'espècie hi ha una



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

elevada pluviometria que pot rentar i mantenir nivells poc elevats de pH (GANDULLO i SÁNCHEZ, 1994) malgrat la presència de carbonats.

4.3. RELACIÓ ENTRE VARIABLES DASOMÈTRIQUES I ÍNDEX D'ESTACIÓ (SI)

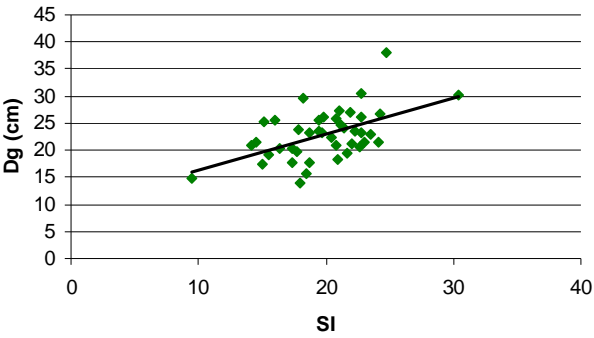
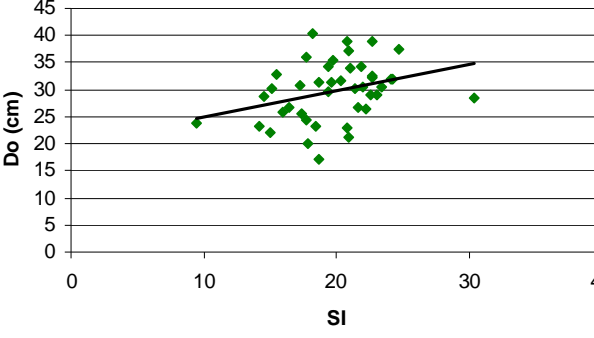
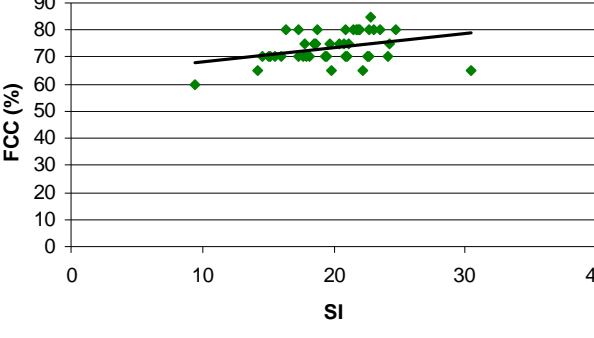
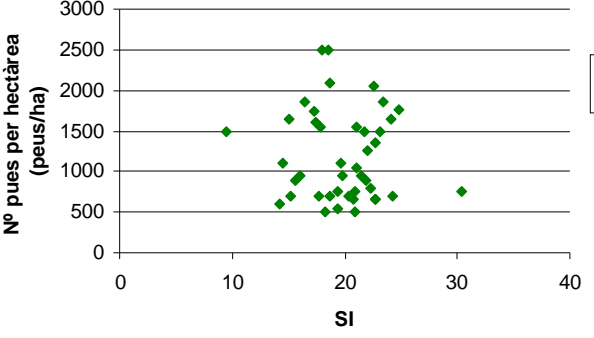
Per últim es va estudiar la relació entre l'índex d'estació i les diferents variables dasomètriques mesurades a camp. Els resultats es mostren a la taula 28.

Taula 28: Relació SI –Variables dasomètriques

Variables dasomètriques	Gràfic
Àrea basimètrica (AB)	<p>Relació SI-Àrea basimètrica</p> <p>$y = 1,5046x + 10,815$ $R^2 = 0,1472$</p> <p>◆ Àrea basimètrica (m2/ha) — Lineal (Àrea basimètrica (m2/ha))</p>
Diàmetre mig (Dm)	<p>Relació SI-Diàmetre mig</p> <p>$y = 0,6834x + 8,4855$ $R^2 = 0,3091$</p> <p>◆ Diàmetre mig (cm) — Lineal (Diàmetre mig (cm))</p>



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

<p>Diàmetre mig quadràtic (Dg)</p>	<p>Relació SI-Diàmetre mig quadràtic</p>  <p>$y = 0,6676x + 9,6461$ $R^2 = 0,2812$</p> <p>◆ Diàmetre mig quadràtic (cm) — Lineal (Diàmetre mig quadràtic (cm))</p>
<p>Diàmetre mig dominant (Do)</p>	<p>Relació SI-Diàmetre dominant</p>  <p>$y = 0,4904x + 20,024$ $R^2 = 0,1072$</p> <p>◆ Diàmetre dominant (cm) — Lineal (Diàmetre dominant (cm))</p>
<p>Fracció de cabuda coberta (FCC)</p>	<p>Relació SI-Fracció de cabuda coberta</p>  <p>$y = 0,5299x + 62,955$ $R^2 = 0,1164$</p> <p>◆ Fracció de cabuda coberta (%) — Lineal (Fracció de cabuda coberta (%))</p>
<p>Número de peus per hectàrea</p>	<p>Relació SI-Número de peus per hectàrea</p>  <p>◆ Número de peus per hectàrea (peus/ha) — Lineal (Número de peus per hectàrea (peus/ha))</p>



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

Dels resultats anteriors se'n poden extreure la següent interpretació:

- Relació positiva entre l'índex d'estació i l'àrea basimètrica: aquesta correlació és dèbil amb una $r=0.384$, es pot observar que en les parcel·les de millor qualitat, normalment és major és la seva àrea basimètrica.
- Relació positiva entre l'índex d'estació i els diferents diàmetres calculats: aquesta correlació és moderada tan pel diàmetre mitjà, com pel diàmetre mitjà quadràtic, en canvi pel diàmetre dominant aquesta relació és inferior amb una $r=0,343$.
- Relació positiva entre l'índex d'estació i la fracció de cabuda coberta: trobem una correlació dèbil entre els dos amb una $r=0.1723$, el que podem veure observant el gràfic és que a millor qualitat major fracció de cabuda coberta.
- Relació inexistent entre l'índex d'estació i el número de peus per hectàrea.

4.4. RELACIÓ ENTRE POSICIÓ FISIOGRÀFICA I PROFUNDITAT EFECTIVA D'ARRELAMENT

4.4.1. DIFERÈNCIA ENTRE LES POSICIONS FISIOGRÀFIQUES OBSERVADES A CAMP O EXTRETES A PARTIR DEL MODEL DIGITAL DEL TERRENY

De les 42 parcel·les realitzades, pel que fa referència a la seva posició fisiogràfica els resultats obtinguts a camp són els següents (Taula 28)

Taula 29: Número de parcel·les realitzades per cada posició de vessant.

Posició fisiogràfica (a camp)	Número de parcel·les
Part superior de vessant (1)	12
Mitja vessant (2)	16
Part inferior de vessant i fons de vall (3)	10
Divisòries (5)	4



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

A partir de les coordenades obtingudes en les parcel·les realitzades a camp, es van obtenir les classes de posició fisiogràfica segons Garrido *et al* (2008) mitjançant el programa ArcGis. En la següent taula es mostren els resultats obtinguts pel total de les parcel·les realitzades a camp.

Taula 30: Posició de vessant segons dades extretes del Model Digital del Terreny.

Posició fisiogràfica (segons GIS)	Número de parcel·les
Part superior de vessant (1)	6
Mitja vessant (2)	17
Part inferior de vessant i fons de vall (3)	15
Divisòries (5)	4

Mirant els valors de les parcel·les realitzades a camp i els valors que ens dona el programa ArcGis podem comparar les dues classificacions, i per tant detectar les possibles divergències entre ambdues classificacions. La següent taula ens mostra aquesta comparació.

Taula 31: Comparació Posició fisiogràfica segons Garrido *et al* (2008)– Posició fisiogràfica segons classificació a camp.

Classe de relleu segons Garrido <i>et al</i> (2008)	Classe de relleu segons classificació a camp		
	Coincidències	Assignades a una classe adjacent	Altres
6 part superior de vessant	2	3 mitja vessant, 1 divisòria	0
17 mitja vessant	7	5 part alta, 5 part baixa	0
15 part inferior de vessant i fons de vall	4	6 mitja vessant	2 divisòries, 3 parts altes
4 divisòries	1	2 part superior	1 part inferior

Mirant els següents resultats, en podem extreure que determinar la posició fisiogràfica no es tan fàcil de realitzar com sembla en un primer moment, ja que en cap dels casos el percentatge de coincidència ha estat superior al 50%. El que es pot veure, és que la majoria de discordàncies es donen en assignar una posició



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

determinada a les classes de relleu adjacents, amb uns percentatges força elevats. Això pot ser degut a que són les zones on és més difícil diferenciar exactament on acaba una i comença l'altra ja que ens podem trobar en punts de transició.

4.4.2. RELACIÓ POSICIÓ FISIOLÒGICA - PROFUNDITAT EFECTIVA D'ARRELAMENT

En aquest punt el que s'estudia és la relació que hi ha entre la posició en la vessant i la profunditat efectiva d'arrelament. Es comparen els valors obtinguts a partir de la classificació realitzada a camp i a partir de les dades extretes de Garrido *et al* (2008) (Taules 31 i 32)

Taula 32: Valors mitjans i desviació típica de la profunditat efectiva d'arrelament (m), segons diferents classificacions de posició fisiològica.

	Sig.	Posició fisiològica											
		1			2			3			5		
		n	Mitj	σ	n	Mitj	σ	n	Mitj	σ	n	Mitj	σ
Classificació a camp	0,046	12	43,5	13,5	16	48,1	12,0	10	55,6	18,9	4	31,7	13,8
Classificació segons Garrido <i>et al</i> (2008)	0,045	6	47,2	14,1	17	49,4	15,4	15	49,6	14,3	4	26,7	10,0



Taula 33: Relació entre la posició fisiogràfica i la profunditat efectiva d'arrelament.

	RELLEU	Sig.	GRUPS DUNCAN	GRÀFIC
Posició fisiogràfica segons classificació a camp	1, 2, 3 i 5	0,030	5 ¹ , 1 ^{1,2} , 2 ² , 3 ²	<div> Posició fisiogràfica 1 Part superior de vessant 2 Mitja vessant 3 Part inferior de vessant i fons de valls 5 Divisòries </div>
Posició fisiogràfica segons Garrido et al (2008)	1, 2, 3 i 5	0,045	5 ¹ , 1 ² , 2 ² , 3 ²	<div> Posició fisiogràfica 1 Part superior de vessant 2 Mitja vessant 3 Part inferior de vessant i fons de valls 5 Divisòries </div>

Observant els dos gràfics podem veure que hi ha una important coincidència entre els dos. En tots dos casos apareixen diferències significatives. La zona amb una major profunditat d'arrelament és la 3 (part inferior de vessant i fons de vall) i la zona amb menor profunditat d'arrelament és la 5 (divisòries), aquests resultats són lògics ja que les divisòries i part superior de vessant són les que pateixen més els problemes de l'erosió, mentre que les part baixes i fons de valls és a on s'acumulen els sediments provinents de l'erosió.

Una implicació important d'aquest resultat és que, malgrat les diferències en l'assignació de classes de posició fisiogràfica entre la observació a camp i la classificació mitjançant GIS (taula 30), és coincident en la profunditat del sòl, aspecte clau de la qualitat d'estació.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

5. CONCLUSIONS



5. CONCLUSIONS

A un nivell regional, es posa de manifest la preferència de l'espècie per ambients bioclimàtics d'elevades pluviometries i temperatures baixes.

Les posicions fisiogràfiques de parts baixes de vessant i orientacions d'obaga són les de millor qualitat d'estació per al pi roig.

De tots els factors ecològics locals, la profunditat efectiva d'arrelament sembla ser un factor clau en la configuració de la qualitat d'estació.

Tot i això, és un factor difícil d'avaluar amb rapidesa i precisió en camp. En aquest sentit, la posició fisiogràfica pot ser un bon estimador de la profunditat del sòl, i indirectament, ens aporta informació sobre la qualitat d'estació per a aquesta espècie.

Pot intuïr-se l'efecte dels usos històrics i de les dinàmiques forestals sobre les variables dasomètriques utilitzades com a indicadors de qualitat: àrees que bioclimàticament semblarien òptimes per a l'espècie no mostren en base a les masses actuals, el potencial de l'estació.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

ANNEXOS

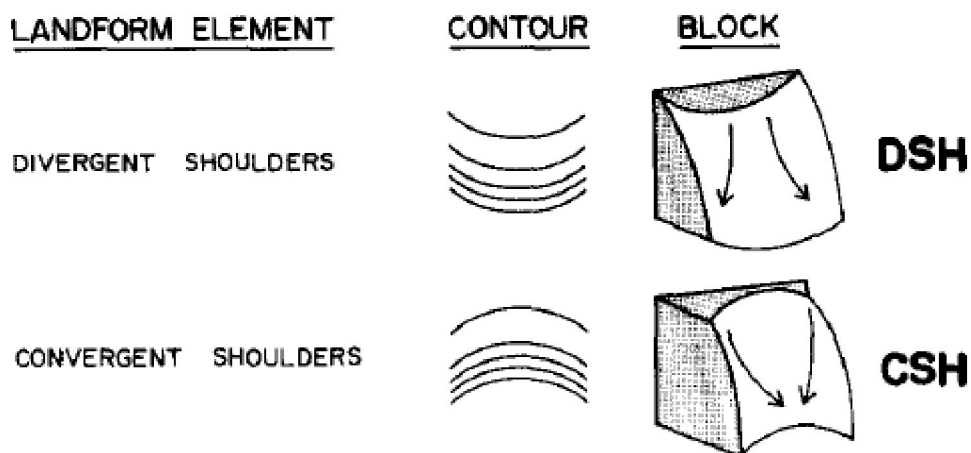


ANNEX 1: Classificació del relleu a camp

CLASSIFICACIÓ DEL RELLEU A CAMP:

Classificació dels elements topogràfics:

Part superior de vessant (Shoulder (SH)) → zona alta del pendent que s'inicia just a l'acabar la cresta. Perfil de curvatura convexa. En la figura podem observar la forma de les corbes de nivell, que ens serà útil per identificar-ho sobre un mapa.



Mitja pendent (Backslope (BS)) → zona mitja del pendent que comunica la zona alta i la zona baixa del mateix. Perfil de curvatura lineal. El seu gradient serà superior a 3°. En la figura podem observar la forma de les corbes de nivell, que ens serà útil per identificar-ho sobre un mapa.



<u>LANDFORM ELEMENT</u>	<u>CONTOUR</u>	<u>BLOCK</u>	
DIVERGENT BACKSLOPES			DBS
CONVERGENT BACKSLOPES			CBS

Part inferior del vessant (Footslope (FS)) → zona baixa del pendent que porta cap al fons de vall o a zones planes. Perfil de curvatura còncau. En la figura podem observar la forma de les corbes de nivell, que ens serà útil per identificar-ho sobre un mapa.

<u>LANDFORM ELEMENT</u>	<u>CONTOUR</u>	<u>BLOCK</u>	
DIVERGENT FOOTSLOPES			DFS
CONVERGENT FOOTSLOPES			CFS

Cresta → zones convexes i que no poden rebre aigua per causa de la seva topografia. Un valor d'acumulació d'aigua <1 , és a dir no hi ha cap zona de la qual pugui rebre aigua.

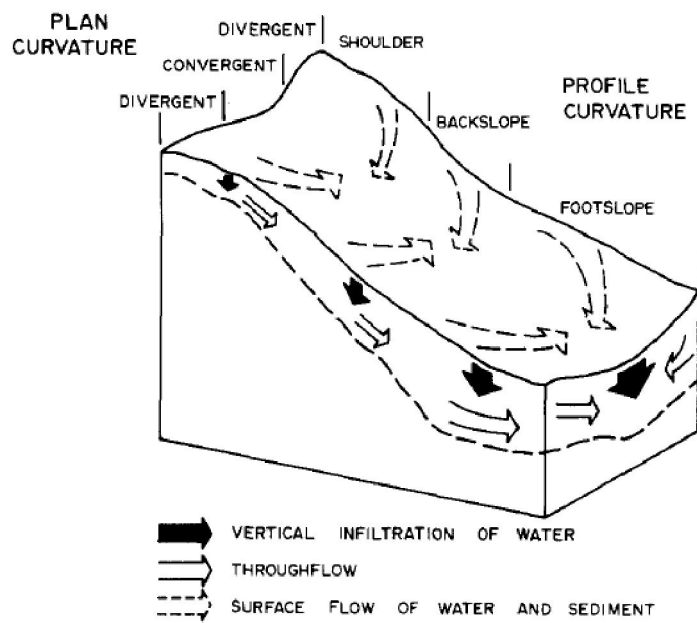
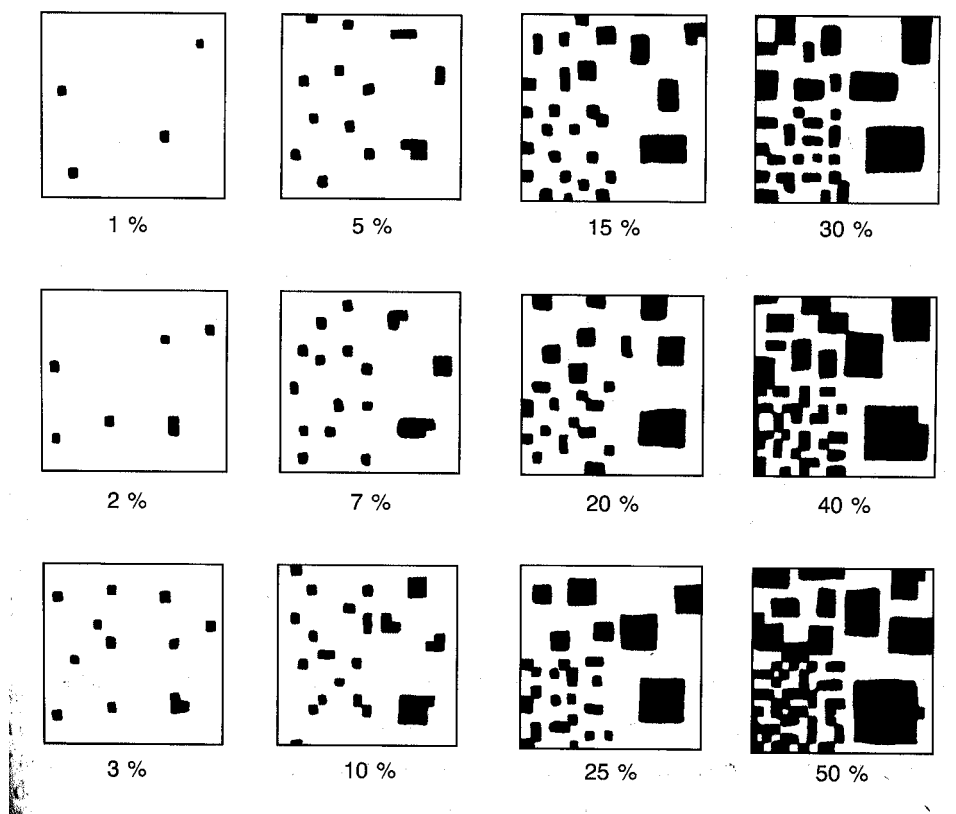


Fig. 2. Summary diagram of probable water movement and concentration associated with different landform elements in a hillslope system.



ANNEX 2: Estimació dels elements grossos

Estimació dels elements grossos, taques, entre altres, es poden estimar a partir del següent quadre elaborat per la FAO.





ANNEX 3: Fitxa de recollida de dades

Fitxa nº:

FITXA DE RECOLLIDA DE DADES

LOCALITZACIÓ:

Comarca:

Municipi:

Paratge:

Data:

CARACTERÍSTIQUES PARCEL·LA:

Nº de parcel·la:.....

Coordenades UTM X=..... Y=.....

Posició fisiogràfica:

Altitud:

Orientació (º):

Pendent (º) i %:.....

Radi corregit:

Afloraments rocosos (%):

Erosió:

ASPECTES DESCRIPTIUS DE LA MASSA:

Índex d'espessor	Fcc	Estructura massa

Mesura diàmetres normals

arbre nº	Diàmetre 1,30m (cm)	Alçada (m)	Edat	Codi core
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

ALTRES OBSERVACIONS:

Aprofitament:.....

Estat fitosanitari:

Aspecte del port:

CALICATA:

Profunditat efectiva d'arrelament:

Elements grossos:

Proba del carbonat calci (HCl 11%):

Descripció perfils, observacions, etc.:

.....



ANNEX 4: Protocol de mesura

PROTOCOL DE MESURA

LOCALITZACIÓ

Per a localització de les parcel·les, utilitzarem els programes:

- Mirabosc On Line, versió IFN, per saber la superfície i el volum que ocupa el Pi rajolet en les diferents comarques dels Pirineus i Prepirineus.
- Google Earth, per veure la imatge aèria.
- GIS, per a l'obtenció de les coordenades.

DESCRIPCIÓ SILVÍCOLA

Espècie arbòries principals que es troben en la massa.

Estructura de la massa:

- monoestratificada
- biestratificada
- multiestratificada

Distribució en edat:

- coetània
- regular
- semirregular
- irregular peu a peu
- irregular per cops
- irregular per bosquets

Forma fonamental de massa:

- bosc de llavor
- bosc de rebrot

Classes naturals d'edat (masses regulars)

- seminal → regenerat fins una alçada de 25 cm.
- plançoneda → peus majors de 25 cm d'alçada fins que s'inicia la tangència de capçades (alçada de 1,30 m)
- plançoneda grossa → entre l'inici de la tangència de capçades i l'esporga natural (alçada de 2-2,5 m)
- perxada → entre l'esporga natural fins a peus de 20 cm de DAP.
- fustal → DAP > 20 cm.

Espècies arbòries en el estrat dominant i percentatge (mínim 5%)

Espècies arbòries en el estrat dominat i percentatge (mínim 5%)

Edat de la massa



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

Índex d'espessor:

- incompleta buida → les capçades no es toquen i la distància entre elles és superior al diàmetre mig de les seves capçades.
- Incompleta clara → les capçades no es toquen i la distància entre elles és inferior al diàmetre mig de les seves capçades.
- completa → hi ha tangència de capçades
- travada → les capçades s'entrellacen.

Estat de regenerat: espècie i abundància.

Vitalitat de la massa.

Estat arbustiu.

- Espècie
- Recobriment: Baix (<25%), Regular (25-50%), Alt (50-75%) i Molt alt (>75%)
- Alçada mitja

DENDROMETRIA

Càlcul de l'altura dominant, seguirem aquests criteris.

- selecció visual dels arbres més gruixuts del rodal
- que ocupin una posició dominant en la massa
- no tenir defectes visibles que puguin haver alterat el seu desenvolupament normal
- arbres amb el canó recte i cilíndric
- no créixer en espais oberts, aïllats de la resta de la massa forestal

Càlcul de l'edat, barrinarem l'arbre a aproximadament a uns 25 cm del terra, mitjançant una barrina de Pressler i fent un recompte dels anells de creixement.

DESCRIPCIÓ CALICATA:

La calicata es realitzarà en un punt de la parcel·la on les característiques siguin homogènies i el més allunyat possible dels seus límits

Mida de la calicata, segons (Porta, et al 2008)

- haurà de tenir una mida suficient per a poder treballar amb comoditat, uns 70 cm d'ample i uns 2 metres de profunditat o fins a una roca dura si aquesta és més superficial.

Observacions de sòl.

- Profunditat del sòl → profunditat de la calicata fins al límit on toca amb el material original.
- Profunditat efectiva d'arrelament → profunditat màxima on podem trobar arrels en el perfil del sòl.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

- Elements grossos → Utilitzarem el quadre elaborat per la FAO per a calcular el percentatge d'aquests.
- Proba del carbonat calci (HCl 11%) → la presència s'estableix mitjançant l'aplicació d'àcid clorhídric de concentració al 11 % en volum damunt d'una mostra de sòl (FAO, 2006)
 - S'observa la efervescència del CO₂ en forma de bombolles grans que apareixen ràpidament formant una espuma alta: > 20 % en volum de carbonats.
 - S'observa la efervescència del CO₂ en forma de bombolles petites que apareixen gradualment formant una espuma baixa: 5-15 % en volum de carbonats.
 - No s'observa la formació de bombolles, però a l'acosta la mostra a l'orella es fa audible la reacció: < 5 % en volum de carbonats.
 - No s'observa la formació de bombolles i la reacció no és visible: no conté carbonats.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.

BIBLIOGRÀFIA



BIBLIOGRAFÍA

ALEMANY, S. (1994). *Guia pràctica de Silvicultura*. Barcelona: Centre de la Propietat Forestal.

ALTUN, L., ZEKI, E., GUNLU, A. I IHSAN, A. (2008). *Classification and mapping forest sites using geographic information system (GIS): a case study in Artvin Province (Turkey)*. Environ Monit Assess (2008) 137:149–161. Faculty of Forestry, Karadeniz Technical University.

BOLÒS, O., VIGO, J. (1984). *Flora del Països Catalans*. Volum I. Barcelona: Barcino.

BRAVO, F. i MONTERO. G., (2001). *Site index estimation in Scots pine (Pinus sylvestris L.) stands in the High Ebro Basin (northern Spain) using soil attributes*. Madrid: INIA. Forestry 74 4: 395-406.

CATALÁN, G., GIL, P., GALER, R.M., MARTÍN, S., ANGUDEZ, D. I ALÍA, R. (1991). *Las Regiones de procedencia de Pinus sylvestris L. Y Pinus nigra Arn. subsp. Salzmannii en España*. Madrid: ICONA.

COSTA, M.; MORLA, C. Y SAINZ, H. (1998). *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Ed. Planeta. Barcelona

CREAF (2000). *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya*. Bellaterra: Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals.

ELENA, R., SÁNCHEZ, F., RUBIO, A., GÓMEZ, V., AUNÓS, A.; BLANCO, A. i SÁNCHEZ, O.; (2001). *Autoecología de los hayedos catalanes*. Madrid: INIA. Investigación Agraria. Sistema de Recursos Forestales. Vol. 10 (1).

ELENA, R. i SANCHEZ O. (1991) *Los pinares españoles de Pinus Nigra Arn.: Síntesis ecológica*. Madrid: INIA. Monografías Nº 81. 110 p.

GALÁN, P., GAMARRA, R. i GARCÍA, J.I. (1998). *Árboles y arbustos de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Madrid: Ediciones Jaguar.



GANDULLO J.M., SÁNCHEZ O., (1994) *Estaciones ecológicas de los pinares españoles*. MAPA-ICONA: Colección Técnica. Madrid, 188 pp.

GARCIA, J.L. (1981). *Tablas de producción de densidad variable par Pinus sylvestris L. en el Sistema Ibérico*. Madrid: INIA.

GARCIA, J.L. i GÓMEZ, J.A. (1984). *Tablas de producción de densidad variables para Pinus sylvestris L. en el Sistema Central*. Madrid: INIA.

GARCIA, J.L. i TELLA, G. (1986). *Tablas de producción de densidad variable para Pinus sylvestris L. en el sistema pirenaico*. Madrid: INIA.

GARRIDO, J.P., TORRAS, O., PIQUE, M., VERICAT, P., (2008). Mapa de posicions fisiogràfiques de Catalunya. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. No publicat.

GODEFROID, S., MASSANT, W., WEYEMBERGH, G. i KOEDAM, N. (2003). *Impact of Fencing on the Recovery of the Ground Flora on Heavily Eroded Slopes of a Deciduous Forest*. Environmental Management Vol. 32, No. 1, pp. 62–76.

GUTIÉRREZ, E. (1990). *Dendroecología de Pinus sylvestris L. en Cataluña*. Departamento d'Ecologia. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Barcelona: Organisme i Sistemes, V. 5 (1990) p. 5-11.

MONTERO, G., SERRADA, R., REQUE, A.(2008). *Compendio de silvicultura aplicada en España*. Madrid: Instituto Nacional de Investigacion. Agraria – Fundación Conde del Valle de Salazar.

MORÉ, G., PONS, X., BURRIEL, J.A., CASTELLS, R., IBÁÑEZ, J.J. i ROIJALS, X. (2005) *Generación de cartografía detallada de vegetación mediante procesamiento digital de imágenes Landsat, variables orográficas i climáticas*. <http://www.creaf.uab.es/miramón/publicat/papers/6set-geo/GeneracionDeCartografiaDetalladaDeVegetacion.pdf>

NINYEROLA, M. (2000): *Modelització climàtica mitjançant tècniques SIG i la seva aplicació a l'anàlisi quantitativa de la distribució d'espècies vegetals a l'Espanya peninsular*. Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.



- OLARIETA, J.R., MOLINS, J., RODRÍGUEZ, R., BLANCO, R. i ANTÚNEZ, M. (2001). *Aproximación a los requerimientos del territorio para el crecimiento de pino silvestris (Pinus sylvestris L.) en la Sierra de Odén*. Edafología. 8-2: 13-20.
- OLARIETA, J.R., RODRÍGUEZ-OCHOA, R. (2005) Apunts d'edafologia. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida.
- ORTEGA, A., i MONTERO. G. (1988). *Evaluación de la calidad de las estaciones forestales. Revisión bibliográfica*. Madrid: Ecología, 2: 155-184.
- ORTEGA, A., i MONTERO. G. (1991). *Evaluación de la calidad de estación en masas de Pinus sylvestris L. utilizando la relación altura.diámetro*. Montes, 25:51-55.
- PALAHÍ, M., TOMÉ, M., PUKKALA, T., TRASOBARES, A. i MONTERO, G. (2003). *Site index model for Pinus sylvestris i north-east Spain*. Forest Ecology and Management 187: 35-47.
- PENNOCK, D.J. (2003). *Terrain attributes, landform segmentation, and soil redistribution*. Soil & Tillage Research 69: 15-26.
- PENNOCK, D.J. & CORRE, M.D. (2001). *Development and application of landform segmentation procedures*. Soil & Tillage Research 58: 151-162.
- PENNOCK, D.J., ZEBARTH, B.J., DEJONG, E. (1987). *Landform Classification and Soil Distribution in Hummocky Terrain, Saskatchewan, Canada*. Geoderma, 40 (1987) p.297-315.
- PITA, A. (1964) *La calidad de la estación en las masas de Pinus sylvestris de la península Ibérica*. Anales I.F.I.E. nº 36(9): 5-28.
- PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M., i POCH, R.M. (2008). *Introducción a la edafología. Uso y protección del suelo*. Barcelona. Ediciones Mundi-Prensa.
- REUTER, H.J. (2003). *Analyzing Digital Elevation Models using Relief Analysis within ArcInfo*. Müncheberg: Department of Soil Landscape Research.



RODRÍGUEZ-OCHOA, R., OLARIETA, J.R., OLÓRIZ, P. i AGUARTA, S. (2008). *Suelos y masas de Pinus halepensis en la sierra de alcubierre (Huesca)*. Sociedad Española de Ciencias Forestales 25: 379-385.

SOCHA, J.(2008) Effect of topography and geology on the site index of *Picea abies* in the West Carpathian, PolandScandinavian Journal of Forest Research, 2008; 23: 203_213.

SUN, X., HEB, Z. i KABRICKC, J. (2008) *Bayesian spatial prediction of the site index in the study of the Missouri Ozark Forest Ecosystem Project*. Computational Statistics and Data Analysis 52 (2008) 3749–3764. USDA Forest Service.



Relació entre els factors ecològics i la producció forestal en pi roig de l'àmbit Pirinenc.